

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**INNOVACIÓ D'UNA MÀQUINA DOMÈSTICA DE PLANXAT
AUTOMÀTIC DE ROBA**



Memòria

Autor:	Julen Durlan Gaztañaga
Director:	Domingo Santos Espada
Departament	Enginyeria Mecànica
Convocatòria:	Juny 2019

Resum

El present projecte es basa en la innovació d'un aparell domèstic que permet automatitzar el procés de planxat de roba, des de la fase d'investigació, passant pel disseny mecànic, elèctric i tèrmic de la màquina, realització de càlculs, simulacions i programació fins la construcció d'un prototip totalment funcional.

La projecció del conjunt s'ha realitzat atenent als requeriments de la població, com ara la reducció de dimensions, temps de planxat i preu de venda per tal que pugui ser adquirit per totes les classes socials.

El camí seguit fins la consecució del prototip final engloba un conjunt de dissenys inicials fallits que han estat indispensables per poder assolir l'objectiu desitjat a partir de la determinació dels errors i l'experimentació.

Finalment, s'ha tractat de minimitzar l'impacte ambiental que pot generar la màquina per evitar malmetre l'ecologia i la naturalesa mitjançant l'ús de materials reciclables i reduint fins a una dècima part l'energia elèctrica consumida en vers els aparells actuals.

Agraïments

M'agradaria agrair aquest treball a totes aquelles persones que han dedicat un temps a escoltar-me, aconsellar-me, animar-me o simplement donar una humil opinió sobre el projecte, ja que no hagués estat possible sense la vostra ajuda.

Donar les gràcies a en Jordi Marquès per tantes tardes dedicades a escoltar els diferents problemes que em sorgien i tractar de buscar una solució conjunta i tot l'aprenentatge que m'ha proporcionat en el món de la fabricació.

Agrair a Lucía Tejada per els ànims que m'ha donat quan semblava que el projecte no avançava com hauria i el temps dedicat a tractar de millorar l'estètica de certs prototips que anava dissenyant.

No pot faltar, l'ajuda per part de l'empresa Càrnica Batallé i sobretot de l'Àlex Ramón, en Silviu Gilea i en Josep Johé a l'hora d'aconsellar-me en la construcció de la màquina i proporcionar-me informació sobre empreses dedicades a la fabricació d'elements de xapa.

Donar les gràcies als meus pares, Nando Durlan i Merche Gaztañaga per tractar d'aconsellar-me, animar-me i opinar sobre tots aquells temes de la millor manera que podien. Especialment sense la vostra ajuda hagués estat força complex realitzar aquest treball.

Finalment, agrair a en Domingo Santos, el tutor del treball per involucrar-se de forma tant activa en l'evolució del treball, aportant constantment noves idees i solucions als problemes que apareixien i sobretot donant una visió molt crítica i perfeccionista d'aquells temes per tal d'executar un bon projecte.

Glossari

Aliatge: Substància formada a partir de la mescla de dos o més materials dels quals un d'ells ha de ser un metall.(pàg. 93)

Cabrestant: Màquina simple formada per un cos en rotació lligat a una corda.(pàg.24)

Caudal màssic: Quantitat de fluid que circula per una zona en un temps determinat.(pàg.12)

Cinemàtica: Estudi del moviment de cossos sense comptar amb les causes productores d'aquest.(pàg.1)

Coaxial: Propietat de dos o més cossos que comparteixen el mateix eix de revolució.(pàg.30)

Coixinet: Element mecànic utilitzat per suportar un eix amb mínima fricció.(pàg.24)

Concentració de tensions: Zona d'un cos sòlid on les tensions s'incrementen degut a la geometria.(pàg.63).

Discretització: Partició de la geometria espacial en elements fàcils de manipular.(pàg.5)

Estètica: Estudi de les característiques de bellesa i el considerat atractiu.(pàg.2).

Fibres: Filaments a partir dels quals es generen teixits d'origen orgànic, vegetal o animal. També poden ser creades artificialment.(pàg.3):

Iterativa: Iterar es basa en repetir una certa acció.(pàg.1).

Límit elàstic: Tensió màxima que pot suportar una material abans de patir una deformació permanent.(pàg.65)

Mòdul elàstic: Pendent de la corba tensió- deformació d'un material a la zona elàstica. Constant a partir de la qual es pot relacionar la tensió amb la deformació elàstica corresponent.(pàg. 7).

Molècules: Conjunt d'àtoms que conforma una substància.(pàg.3).

Polímer: Material format per cadenes de molècules unides mitjançant enllaços covalents.(pàg.3)

Ponts d'hidrogen: Interacció electrostàtica entre molècules a partir d'un àtom d'hidrogen i un altre amb major electronegativitat.(pàg 7).

Relé: Interruptor electromagnètic accionat mitjançant una corrent elèctrica.(pàg.5)

Renderitzat: Fotografia realista generada en una computadora a partir d'un model en tres dimensions.(pàg.25)

Teixit: Material generat a partir de l'agrupació de fibres.(pàg.1)

Temperatura de fusió: Valor de temperatura a partir del qual un material evoluciona a estat líquid.(pàg.3)

Temperatura de transició vítria: Valor de temperatura a partir del qual un sòlid amorf perd rigidesa i evoluciona a un estat viscos.(pàg.3).

Torn: Màquina a partir de la qual es poden mecanitzar objectes mitjançant la rotació dels mateixos.(pàg.124).

ÍNDEX

Resum.....	I
Agraïments.....	II
Glossari.....	III
Índex de Figures	IV
Índex d'equacions.....	VIII
1. Prefaci.....	1
1.1.- Origen del treball.....	1
1.2.- Motivació	1
1.3.- Requeriments previs.....	2
2. Introducció.....	3
2.1.- Objectius i abast del treball	4
3. Especificacions bàsiques	6
3.1.- Com es fabrica la roba	6
3.2.- La ciència del procés de planxat	7
3.3.- Patents realitzades sobre màquines de planxar	8
3.3.1.- Planxa Grega	8
3.3.2.- Planxa Xinesa	9
3.3.3.- Planxa del segle XVII.....	9
3.3.4.- Planxa elèctrica	10
3.3.5.- Planxa elèctrica a vapor.....	11
3.3.6.- Màquines domèstiques de planxat automàtic.....	13
3.3.6.1.- Effie® i Swash®	13
3.3.6.2.- Dressman TJ10100 de Siemens	15
3.3.6.3.- Foldimate®	16
4. Descripció i presentació del treball desenvolupat	17
4.1.- Dissenys inicials	17
4.1.1.- Prototip 1.....	17
4.1.2.- Prototip 2.....	18
4.1.3.- Prototip definitiu.....	22
4.2.- Funcionament i elements principals de la màquina.....	25
4.3.- Càlculs dels elements.....	34
4.3.1.- Mecanisme d'obertura de l'aparell	34
4.3.1.1.- Cinemàtica-Velocitat.....	39
4.3.1.2.- Cinemàtica-Acceleració.....	42
4.3.1.3.- Cinemàtica-Simulació	45
4.3.1.4.- Dinàmica	59
4.3.1.5.- Resistència dels elements	62
Part 1	62
Part 2	67
Part 3	71
Penjador	75
4.3.2.- Moviment de translació	77

4.3.2.1.-	Base de les estructures verticals.....	77
4.3.2.2.-	Selecció del motor.....	79
4.3.2.3.-	Comprovació rodaments lineals.....	83
4.3.3.-	Anàlisi termodinàmic.....	87
4.4.-	Selecció de materials i fabricació.....	92
4.5.-	Connexions elèctriques i programació.....	95
5.	Anàlisi de l' impacte ambiental	101
6.	Normatives	103
6.1.-	Disseny.....	103
6.2.-	Creació de plànols	103
6.3.-	Seguretat de la màquina.....	103
6.4.-	Comercialització	104
7.	Avantatges i Inconvenients del producte.....	105
7.1.-	Avantatges.....	105
7.2.-	Millores a realitzar.....	106
8.	Planificació de les tasques	107
9.	Pressupostos i Anàlisi Econòmica	109
9.1.-	Anàlisi del prototip	109
9.1.1.-	Cost directe.....	109
9.1.1.1.-	Fabricació del prototip.....	109
9.1.1.2.-	Components electrònics	111
9.1.1.3.-	Muntatge	112
9.1.2.-	Cost indirecte.....	113
9.1.3.-	Optimització.....	114
9.2.-	Anàlisi de fabricació en sèrie	117
10.	Resultat.....	118
11.	Conclusions	125
12.	Bibliografia	127

Índex de Figures

Figura 2.1.- "La Planxadora" . Pablo Picasso. 1904	3
Figura 3.1. Etiqueta Roba Personal-Labels.03/2019	6
Figura 3.2.- Cilindre de ferro grec utilitzat per planxar. S IVa.C. Museo de la Plancha.Mexico	8
Figura 3.3.-Planxa de llautó del segle IV d.C. Xina	9
Figura 3.4.- Planxa italiana del segle XVII. Virtual Museum of Textile Arts.Italia	9
Figura 3.5.- Patent de la primera planxa elèctrica. Henry Seely.1882.US Patent 259054	10
Figura 3.6.- Primera planxa a vapor. Eldec Company.1926.Nova York	11
Figura 3.7.- Exemples de diferents bombes de desplaçament positiu.Font Gunt Hamburg.Alemania.2019	12
Figura 3.8.- Prototip Effie®. Font:Effie®. Royston.2019	13
Figura 3.9.- Swash.WhirlPool.28/03/19.Benton Harbor, Michigan,EEUU.	14
Figura 3.10.- Dressman Siemens. 28/03/19. München.Alemanya	15
Figura 3.11.- FoldiMate. California.Març 2019	16
Figura 4.1.- Disseny primer prototip. Imatge pròpia. 20/11/2018.....	17
Figura 4.2.- Prototip 2. Imatge Pròpia. 17/12/18.....	19
Figura 4.3.- Prototip 2 barres amb corretja. Imatge Pròpia. 17/12/18	19
Figura 4.4.- Sistema amb cadenes Prototip 2. Imatge Pròpia. 23/12/18	20
Figura 4.5.- Mecanisme intercanvi cadenes prototip 2. Imatge Pròpia. 23/12/18	20
Figura 4.6.- Mecanisme intercanvi cadenes i barra prototip 2. Imatge pròpia. 23/12/18	21
Figura 4.7.- Bloqueig i intercanvi cadenes prototip 2. Imatge Pròpia. 23/12/18	21
Figura 4.8.- Prototip definitiu inicis. Imatge Pròpia. 07/01/19	23
Figura 4.9.- Prototip definitiu. Sistema plegat. Imatge pròpia.07/01/19	23
Figura 4.10.- Prototip definitiu planxes mòbils. Imatge pròpia. 07/01/19	24
Figura 4.11.- Màquina totalment plegada.- Imatge pròpia. 02/02/19.....	26
Figura 4.12.- Obertura de la màquina. Imatge Pròpia. 02/02/19	26
Figura 4.13.- Accionament mecanisme obertura mitjançant vis sens fi. Imatge pròpia. 02/02/19.....	27
Figura 4.14.- Contrapunt del vis sens fi. Imatge pròpia. 02/02/19	27
Figura 4.15.- Aparell totalment desplegat. Imatge pròpia. 02/02/19	28
Figura 4.16.- Moviment estructures de planxat amb motor i corretja. Imatge pròpia.02/02/19	28
Figura 4.17.- Politja per tensar corretja. Imatge pròpia. 02/02/19.....	29
Figura 4.18.- Rodament Lineal, guia i fixació corretja. Imatge pròpia.02/02/19	29
Figura 4.19.-Col·locació vestimenta. Imatge pròpia.02/02/19.....	29
Figura 4.20.- Sistema dinàmic d'aigua. Imatge pròpia. 02/02/19	30
Figura 4.21.- Generador de vapor. Imatge Pròpia.02/02/19.....	31
Figura 4.22.- Canonades circulació vapor i malla. Imatge Pròpia. 02/02/19	31
Figura 4.23.- Pas de l'estructura de planxat per la vestimenta. Imatge pròpia. 02/02/19	32
Figura 4.24.- Banda flexible de PVC .Imatge pròpia.02/02/19.....	33
Figura 4.25.- Corrons Banda PVC. Imatge pròpia.02/02/19.....	33
Figura 4.26.- Tapes de protecció. Imatge pròpia.02/02/19	34
Figura 4.27.- Mecanisme obertura. Imatge pròpia.02/02/19	35
Figura 4.28.- Dades Part 1 Mecanisme Obertura. Imatge pròpia. 02/02/19	36
Figura 4.29.- Dades Part 2 Mecanisme Obertura. Imatge pròpia.02/02/19	36
Figura 4.30.- Dades part 3 Mecanisme Obertura. Imatge Pròpia. 02/02/19	37
Figura 4.31.- Esquema de l'anàlisi del mecanisme. Imatge pròpia. 02/02/19	37

Figura 4.32.- Esquema Mecanisme. Imatge pròpia.05/02/19.....	38
Figura 4.33.- Anàlisi de moviment simulat per SolidWorks®. Imatge pròpia. 06/03/19	45
Figura 4.34.- Gràfic velocitat angular-temps per la barra 4. Imatge pròpia.06/03/19	46
Figura 4.35.- Gràfic velocitat angular-temps per la barra 6. Imatge pròpia. 06/03/19 ...	46
Figura 4.36.- Gràfic velocitat angular-temps per la barra 2. Imatge pròpia. 06/03/19 ...	47
Figura 4.37.- Gràfic acceleració-temps per la barra 4. Imatge pròpia. 06/03/19.....	47
Figura 4.38.- Gràfic acceleració lineal-temps del punt B. Imatge pròpia. 06/03/19	48
Figura 4.39.-Gràfic acceleració angular-temps per la barra 2. Imatge pròpia. 06/03/19	48
Figura 4.40.- Gràfic acceleració lineal-temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 08/03/19	49
4.41.-Gràfic velocitat angular-temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19.....	50
Figura 4.42.- Gràfic acceleració angular-temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19	50
Figura 4.43.- Gràfic velocitat lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19	51
Figura 4.44.- Gràfic de la velocitat lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19	51
Figura 4.45.-Gràfic acceleració lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19	52
Figura 4.46.-Gràfic acceleració lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19	52
Figura 4.47.-Gràfic velocitat angular- temps de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19	53
Figura 4.48.-Gràfic acceleració angular- temps de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19	53
Figura 4.49.-Gràfic velocitat lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19	54
Figura 4.50.-Gràfic velocitat lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19	54
Figura 4.51.-Gràfic acceleració lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19	55
Figura 4.52.-Gràfic acceleració lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19	55
Figura 4.53.-Gràfic velocitat angular- temps de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19	56
Figura 4.54.-Gràfic acceleració angular- temps de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19	56
Figura 4.55.-Gràfic velocitat lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19	57
Figura 4.56.-Gràfic velocitat lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19	57
Figura 4.57.-Gràfic acceleració lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19	58
Figura 4.58.-Gràfic acceleració lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19	58
Figura 4.59.-Gràfic velocitat -temps del dau C. Imatge pròpia. 10/03/19	59
Figura 4.60.- Mecanisme Obertura. Imatge pròpia. 15/03/19	62
Figura 4.61.- Esquema anàlisi de la part 1. Imatge pròpia. 15/03/19	63
Figura 4.62.- Àrea on s'aplica la força. Imatge pròpia. 15/03/19	63
Figura 4.63.- Càlcul de l'amplada de l'àrea on s'aplica la força. Imatge pròpia. 20/03/19	64

Figura 4.64.- Factor de concentració de tensions, barra en tensió o compressió simple amb orifici transversal. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Budynas, Richard i Nisbett, J. Keith. Mc Graw Hill. 2008	64
Figura 4.65.- Determinació del factor de concentració de tensions. Imatge pròpia. 15/03/19.....	65
Figura 4.66.- Simulació en Ansys de la peça 1, anàlisi de la tensió de Von Mises. Imatge pròpia. 15/03/19	65
Figura 4.67.- Deformació unitària de l'element 1. Imatge pròpia. 15/03/19	66
Figura 4.68.- Desplaçament en mm de la part 1. Imatge pròpia. 15/03/19	66
Figura 4.69.- Esquema simplificat del cas més desfavorable per la part 2. Imatge pròpia. 20/03/19.....	67
Figura 4.70.- Diagrama de tallants per la part 2. Imatge pròpia. 23/03/19	68
Figura 4.71.- Diagrama de moments flectors per la part 2. Imatge pròpia. 23/03/19.....	68
Figura 4.72.- Comportament de les tensions davant un moment flector. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Budynas & Nisbett. 2008	69
Figura 4.73.- Diagrama concentració de tensions. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Budynas & Nisbett. 2008	69
Figura 4.74.- Concentrador de tensions per la part 2. Imatge pròpia. 23/03/19	70
Figura 4.75.- Simulació computacional de les tensions de la part 2 en Ansys. Imatge pròpia. 30/03/19.....	70
Figura 4.76.- Deformacions produïdes a la part 2 en Ansys. Imatge pròpia. 30/03/19	71
Figura 4.77.- Desplaçament en mm de la part 2 en Ansys. Imatge pròpia. 30/03/19.....	71
Figura 4.78.- Esquema de l'anàlisi de la part 3.....	72
Figura 4.79.- Diagrama de tallants per la part 3. Imatge pròpia. 05/04/19	72
Figura 4.80.- Diagrama de moments flectors de la part 3. Imatge pròpia. 05/04/19	73
Figura 4.81.- Factor concentrador de tensions per la part 3. Imatge pròpia. 10/04/19 ...	73
Figura 4.82.- Anàlisi de la peça 3 en Ansys. Imatge pròpia. 10/04/19	74
Figura 4.83.- Deformació unitària de la part 3. Imatge pròpia. 10/04/19	74
Figura 4.84.- Desplaçament de la part 3. Imatge pròpia. 10/04/19	75
Figura 4.85.- Penjador de l'estructura. Imatge pròpia. 10/04/19	75
Figura 4.86.- Simulació computacional en Ansys de la tensió de Von-Mises. Imatge pròpia. 10/04/19	76
Figura 4.87.- Deformació unitària en Ansys del penjador. Imatge pròpia. 10/04/19	76
Figura 4.88.- Desplaçament de l'estructura simulada en Ansys. Imatge pròpia. 10/04/19	77
Figura 4.89.- Esquema de forces de la xapa base. Imatge pròpia. 11/04/19	77
Figura 4.90.- Diagrama de tallants per l'element analitzat. Imatge pròpia. 11/04/19	78
Figura 4.91.- Diagrama de flectors per l'element analitzat. Imatge pròpia. 11/04/19	78
Figura 4.92.- Anàlisi de tensions amb Ansys. Imatge pròpia. 11/04/19	79
Figura 4.93.- Diagrama de cos lliure per seleccionar el motor. Imatge pròpia. 10/04/19	80
Figura 4.94.- Força de fricció rodaments lineals oberts i estancs. Bosch Rexroth. Març 2007.....	81
Figura 4.95.- Radi de la politja del motor. Imatge pròpia. 10/04/19	81
Figura 4.96.- Taula dimensions propies de politges T5. Misumi Company. 10/04/19 ...	82
Figura 4.97.- Norma DIN ISO 14728-2:2005 "Linear motion rolling bearings". 2005 ..	83
Figura 4.98.- Fitxa tècnica del rodament seleccionat SBR12 UU. Font: Cnc4u. 2007	84
Figura 4.99.- Factor de duresa per l'eix. DIN ISO 14728 .2005.....	85
Figura 4.100.- Fitxa tècnica acer AISI 304. G. Style S.A. 2010	85

Figura 4.101.- Determinació del factor de duresa del material. Imatge pròpia. 11/04/19	86
Figura 4.102.- Factor de temperatura respecte la temperatura del rodament. DIN ISO 14728. 2005	86
Figura 4.103.- Propietats de l'aigua saturada.Taula pressió. "Fundamentos de termodinámica".Moran-Shapiro.5a Edició. 2006	88
Figura 4.104.- Propietats de vapor sobreescalfat.Taula pressió. "Fundamentos de termodinámica".Moran-Shapiro.5a Edició. 2006	89
Figura 4.105.- Simulació computacional del bescanviador en Comsol part inicial. Imatge pròpia. 15/04/19	91
Figura 4.106.-Simulació computacional del bescanviador en Comsol part final. Imatge pròpia. 15/04/19	91
Figura 4.107.- Simulació del bescanviador, canvi d'estat. Comsol. Imatge pròpia. 15/04/19.....	92
Figura 4.108.- Gràfic Temperatura-distància realitzat en Comsol. Imatge pròpia. 15/04/19.....	92
Figura 4.109.- Composició química de l'alumini 5083. Alacermas.16/04/19	93
Figura 4.110.- Propietats mecàniques de l'alumini.Alacermas. 16/04/19	93
Figura 4.111.- Variació de les propietats mecàniques de l'alumini 5083-O en front de la temperatura.Alacermas.16/04/19	94
Figura 4.112.-Esquema elèctric del moviment de translació i el control tèrmic. Imatge pròpia. 16/04/19	97
Figura 4.113.- Esquema elèctric del mecanisme d'obertura i el control de la bomba. Imatge pròpia. 16/04/19	98
Figura 8.8.1.- Activitats programades. Imatge pròpia. 23/04/2019.....	107
Figura 8.2.- Diagrama de Gantt de les activitats. Imatge pròpia. 23/04/2019.....	108
Figura 9.9.1.- Pressupost fabricació part 1. Metall-lògic. 17/04/19	110
Figura 9.9.2.- Pressupost fabricació part 2. Metall-lògic.17/04/19	110
Figura 9.9.3.- Pressupost fabricació part 3. Metall-lògic.17/04/19	111
Figura 9.9.4.- Preu dels rodaments lineals. Imatge pròpia. 17/04/19	111
Figura 9.9.5.- Preu del vis sens fi. Imatge pròpia. 17/04/19	111
Figura 9.9.6.- Preu motor mecanisme obertura. Imatge pròpia. 17/04/19	111
Figura 9.9.7.- Preu motor moviment planxes. Imatge pròpia. 17/04/19	111
Figura 9.9.8.- Preu resistència elèctrica. Imatge pròpia.17/04/19	111
Figura 9.9.9.- Preu de la font d'alimentació, corretja i acoblaments flexibles. Imatge pròpia. 17/04/19.....	112
Figura 9.9.10.- Preu del sensor de temperatura. Imatge pròpia. 17/04/19	112
Figura 9.9.11.- IDESCAT Salari brut anual i guany per hora. Per sexe i tipus d'ocupació (CCO-2011). Catalunya 2016.....	112
Figura 9.9.12BOE Disp.542 num15, secció III, pàg 4373 article 33.2 Tablas de niveles salariales	113
Figura 9.9.13Font:IDESCAT Salari brut anual i guany per hora. Per sexe i tipus d'ocupació (CCO-2011). Catalunya 2016	114
Figura 9.14.- Propietats estàndard del PETG. NUDEC.17/04/19	115
Figura 9.9.15.- Gràfic de barres representant el cost dels diferents elements. Imatge pròpia. 17/04/19.....	116
Figura 10.1.- Construcció de la màquina vista frontal. Imatge Pròpia.20/05/19.....	118
Figura 10.2.- Construcció de la màquina vista isomètrica. Imatge Pròpia.20/05/19	119
Figura 10.3.- Construcció de la màquina vista de perfil. Imatge pròpia.20/05/19	119
Figura 10.4.- Regulador de caudal situat a la màquina. Imatge pròpia. 20/05/19	120

Figura 10.5.- Frontissa Oculta Cilíndrica Embotida. Imatge pròpia. 20/05/19	120
Figura 10.6. Muntatge del sistema de vapor. Imatge pròpia.20/05/19	122
Figura 10.7. Muntatge de la sortida de vapor. Imatge pròpia.20/05/19	122
Figura 10.8.- Mecanisme d'obertura i plegat de la màquina amb contrapunt. Imatge pròpia.20/05/19	123
Figura 10.9.- Pont H amb Mosfets. Imatge pròpia. 20/05/19.....	124
Figura 10.10. Controlador motor amb Mosfet BTS706090. Imatge pròpia. 20/05/19 .	124

Índex d'equacions

Equació 4.1	35
Equació 4.2.....	35
Equació 4.3.....	36
Equació 4.4.....	36
Equació 4.5.....	38
Equació 4.6.....	38
Equació 4.7.....	39
Equació 4.8.....	39
Equació 4.9.....	39
Equació 4.10.....	39
Equació 4.11.....	39
Equació 4.12.....	39
Equació 4.13.....	39
Equació 4.14.....	39
Equació 4.15.....	39
Equació 4.16.....	40
Equació 4.17.....	40
Equació 4.18.....	40
Equació 4.19.....	40
Equació 4.20.....	40
Equació 4.21.....	40
Equació 4.22.....	40
Equació 4.23.....	40
Equació 4.24.....	40
Equació 4.25.....	40
Equació 4.26.....	40
Equació 4.27.....	40
Equació 4.28.....	41
Equació 4.29.....	41
Equació 4.30.....	41
Equació 4.31.....	41
Equació 4.32.....	41
Equació 4.33.....	41
Equació 4.34.....	41
Equació 4.35.....	41
Equació 4.36.....	41
Equació 4.37.....	41

Equació 4.38	41
Equació 4.39	41
Equació 4.40	42
Equació 4.41	42
Equació 4.42	42
Equació 4.43	42
Equació 4.44	42
Equació 4.45	42
Equació 4.46	42
Equació 4.47	42
Equació 4.48	42
Equació 4.49	42
Equació 4.50	43
Equació 4.51	43
Equació 4.52	43
Equació 4.53	43
Equació 4.54	43
Equació 4.55	43
Equació 4.56	43
Equació 4.57	43
Equació 4.58	43
Equació 4.59	43
Equació 4.60	43
Equació 4.61	43
Equació 4.62	44
Equació 4.63	44
Equació 4.64	44
Equació 4.65	44
Equació 4.66	44
Equació 4.67	44
Equació 4.68	44
Equació 4.69	44
Equació 4.70	44
Equació 4.71	44
Equació 4.72	44
Equació 4.73	44
Equació 4.74	44
Equació 4.75	45
Equació 4.76	45
Equació 4.77	50
Equació 4.78	51
Equació 4.79	51
Equació 4.80	52
Equació 4.81	53
Equació 4.82	53
Equació 4.83	54
Equació 4.84	55
Equació 4.85	56
Equació 4.86	56
Equació 4.87	57

Equació 4.88	58
Equació 4.89	59
Equació 4.90	59
Equació 4.91	59
Equació 4.92	59
Equació 4.93	60
Equació 4.94	60
Equació 4.95	60
Equació 4.96	60
Equació 4.97	60
Equació 4.98	60
Equació 4.99	60
Equació 4.100	60
Equació 4.101	60
Equació 4.102	60
Equació 4.103	60
Equació 4.104	60
Equació 4.105	60
Equació 4.106	60
Equació 4.107	61
Equació 4.107	60
Equació 4.108	61
Equació 4.110	61
Equació 4.111	61
Equació 4.112	61
Equació 4.113	61
Equació 4.114	61
Equació 4.115	61
Equació 4.116	62
Equació 4.117	64
Equació 4.118	65
Equació 4.119	67
Equació 4.120	67
Equació 4.121	67
Equació 4.122	67
Equació 4.123	68
Equació 4.124	68
Equació 4.125	69
Equació 4.126	70
Equació 4.127	72
Equació 4.128	72
Equació 4.129	72
Equació 4.130	72
Equació 4.131	73
Equació 4.132	73
Equació 4.133	73
Equació 4.134	78
Equació 4.135	78
Equació 4.136	78
Equació 4.137	78

Equació 4.138	79
Equació 4.138	79
Equació 4.140	79
Equació 4.141	80
Equació 4.142	80
Equació 4.143	80
Equació 4.144	80
Equació 4.145	81
Equació 4.146	81
Equació 4.147	81
Equació 4.148	82
Equació 4.149	82
Equació 4.150	82
Equació 4.151	82
Equació 4.152	86
Equació 4.153	86
Equació 4.154	86
Equació 4.155	87
Equació 4.156	87
Equació 4.157	88
Equació 4.158	88
Equació 4.159	88
Equació 4.160	89
Equació 4.161	89
Equació 4.162	89
Equació 4.163	89
Equació 4.164	89
Equació 4.165	89
Equació 4.166	90
Equació 4.167	90
Equació 4.168	90
Equació 4.169	90
Equació 4.170	90
Equació 4.170	90
Equació 4.171	90
Equació 4.172	90
Equació 4.173	90
Equació 4.174	91
Equació 12.1	114
Equació 12.2	114
Equació 12.3	114

1. Prefaci

El present projecte es basa en l' innovació d'una màquina capaç de realitzar el procés de planxat de teixits de forma automàtica i enfocada a l'ús domèstic.

La innovació i el disseny habitualment requereixen d'un ampli ventall de coneixements de diverses especialitats tècniques que s'interconnecten per tal d'arribar a la solució del problema i aquest cas no és una excepció.

Aspectes mecànics, com ara la creació de mecanismes que doten de cinemàtica al conjunt, estructurals que aporten solidesa i estabilitat al sistema, aspectes hidràulics, termodinàmics, elèctrics o econòmics, s'agrupen en aquest projecte per tal de dur a terme una solució real, pràctica i competitiva.

Al tractar-se d'un aparell que serà ubicat als domicilis dels clients genera un gran repte, ja que ha d'adaptar-se a cadascun dels espais i complir les expectatives d'uns usuaris amb requeriments molt variats.

1.1.- Origen del treball

Entre els objectius principals de qualsevol enginyer, es troba el fet de tractar de resoldre problemes que concerneixen a gran part de la societat.

Per poder executar aquest objectiu és necessari adquirir un conjunt de coneixements en ciència i tecnologia, però un enginyer ha d'estar principalment dotat d'una certa intuïció sobre la realitat social que l'envolta per tal de trobar mancances i idear una solució facilitant així el transcurs social.

És justament aquest fet el que dóna origen al present treball, degut a l'observació d'una carència social de nocions sobre el planxat de vestimenta en gran part de la població juvenil, s'ha optat per tractar d'aportar una solució pràctica, senzilla i econòmicament atractiva mitjançant l' innovació d'una màquina que faciliti aquest procés sense que l'usuari requereixi de cap coneixement previ.

1.2.- Motivació

Com a estudiant d'enginyeria suposa un gran repte resoldre un problema que afecta a la societat i tractar d'arribar a la solució a partir d'un aparell totalment innovador, degut a la falta d'experiència de l'autor.

D'altra banda aquest treball aporta una motivació especial, ja que permet posar en pràctica una gran quantitat d'eines que s'han anat adquirint durant l'etapa universitària en un mateix projecte.

La creació d'una màquina és una tasca força iterativa i habitualment produeix en el dissenyador una certa sensació d'esgotament al no obtenir resultats de forma immediata, però a l'hora aquest mateix fet suposa un repte propi ja que no n'hi ha prou amb tenir una consciència social o adquirir un coneixement extens en ciència sinó que també és força important comptar amb una certa fortalesa mental i tractar de no defallir en el procés.

L'adquisició d'aquesta fortalesa és també una motivació pròpia de l'autor, ja que considera que permet formar un caràcter molt útil en una gran quantitat d'àmbits a la vida.

1.3.- Requeriments previs

Els nostres avantpassats sense cap altre coneixement que l'experimentació eren capaços d'arribar a dissenyar aparells que avui en dia encara s'utilitzen, com ara la roda per posar un exemple, per tant, un dels requeriments necessaris de qualsevol inventor és la curiositat i la realització de diferents assaigs.

No obstant això, la ciència permet reduir la quantitat d'experiments anticipant el resultat mitjançant equacions, a més en el món actual els esdeveniments ocorren de forma accelerada i degut a això és més pràctic fer ús de la ciència davant d'una quantitat enorme d'experiments sense cap mena de sentit que podrien alentir el procés de forma interminable. Degut a això, per tal de dissenyar eficientment és transcendental fer ús de les diferents tecnologies i de la ciència.

D'altra banda, no s'ha de menystenir el fet de que tot i que l'enginyer innova per tal d'aportar solucions al món real, aquests aparells o idees tenen un cert cost econòmic que pot fer que mai arribin a donar a llum si la majoria de la població no esdevé un factor limitant. És per això que l'estudi de l'aspecte econòmic és quelcom prioritari a l'hora d'inventar una màquina.

El fet de que l'aparell sigui d'àmbit domèstic inclou un seguit de requeriments extra a l'hora de dissenyar, ja que l'usuari pot ser molt divers. Principalment la màquina està pensada per gent jove però hi ha persones adultes que o bé no tenen nocions en el planxat de roba o bé és una tasca que els hi agradaria no haver de fer, conseqüentment és important tenir consciència dels diferents gustos del client. És imprescindible conèixer prèviament l'àmbit social al que està dirigida la màquina abans d'emprendre el disseny de l'aparell.

El que fa que una màquina triomfi respecte de les competidores es basa principalment en tres aspectes, un bon funcionament, un preu no massa elevat i una estètica atractiva, justament aquest últim aspecte pot arribar a ser determinant en una gran quantitat de casos, ja que freqüentment es tria abans un aparell estètic encara que funcioni pitjor i tingui un cost econòmic més elevat que un altre. Degut a això, és important tenir una certa cura amb la imatge de la màquina tractant d'atraure a la major quantitat de persones possibles.

Finalment, al crear una màquina s'intenta que es pugui vendre a un públic força ampli i això fa que sigui necessari una certa organització a l'hora de produir les diferents parts constituents per tal d'accelerar el procés i permetre reduir costos d'estoc. Un cert coneixement en l'àmbit industrial i el procés productiu és altament beneficiós per al desenvolupament d'un producte.

Com a mode de resum els requeriments previs per tal de dissenyar un aparell es sintetitzen en la curiositat pròpia de l'enginyer; l'ús de la ciència i tecnologia per tal de seleccionar materials, processos de fabricació o seccions resistents; coneixements en economia per fer viable l'aparell i un cert coneixement antropològic, estètic i industrial.

2. Introducció

El procés de planxat de teixits és una tasca que es remunta al segle IV a.C. a Grècia¹, on a partir d'un element candent es tractava d'allisar les fibres i facilitar el plegat de la peça de roba. Al pas dels anys han anat apareixent diferents versions per tal de facilitar i accelerar el procés, però no va ser fins l'any 1882 quan Henry White Seely va dissenyar la màquina que avui en dia es coneix com a planxa².

Una qüestió habitual a l'hora de planxar és perquè les peces de roba tenen arrugues i com és possible que mitjançant l'aplicació de temperatura i vapor s'allisin.

Per entendre aquest fet s'ha de comprendre de què està formada. Les peces de roba no són més que l'agrupació de fibres habitualment polímers (naturals o sintètics) que s'agrupen formant teixits, aquestes molècules es constitueixen en llargues cadenes rígides. Al cedir calor, augmenta la temperatura del polímer, si l'energia aportada permet superar la temperatura de transició vítria del material (T_g), les cadenes perden rigidesa i es tornen més modelables, com és lògic aquest punt de temperatura varia depenent del polímer, però no és necessari arribar just a aquest punt i mantenir-se estable, ja que mentre es superi aquest valor les fibres poden ser allisades (tenint en compte que la temperatura no superi la temperatura de degradació del polímer o bé la temperatura de fusió), és per això, que moltes màquines de planxar funcionen a una temperatura fixa. D'altra banda, el vapor també juga un paper fonamental ja que les molècules d'aigua al tractar-se de dipols elèctrics repelen i atrauen les cadenes dels polímers orientant-les fins a una posició d'equilibri. El vapor també permet una transferència de calor notablement més ràpida i efectiva que una superfície metàl·lica, conseqüentment, les planxes actuals acostumen a emetre vapor a diferència de les antigues que planxaven en sec.³

Durant gran part de la història, les persones que realitzaven aquesta tasca eren considerats esclaus, ja que era una feina monòtona i avorrida, un clar exemple d'aquest fet és el quadre de Pablo Picasso "La Planxadora"⁴ (Figura 2.1), on es mostra una dona esgargamellada eliminant les arrugues d'una tela.

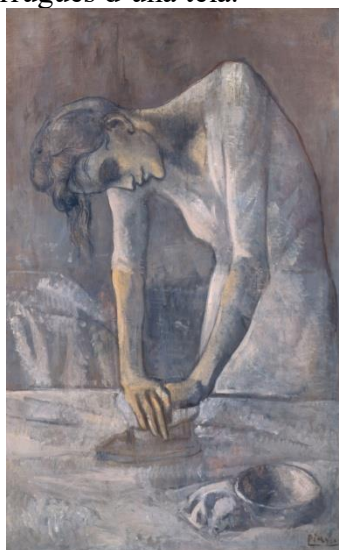


Figura 2.1.- "La Planxadora" . Pablo Picasso. 1904

En l'actualitat, la societat ha deixat de considerar el procés de planxar com una feina per esclaus, però continua sent una tasca àrdua i poc atractiva. Si bé és cert que existeixen màquines automàtiques que han permès simplificar aquesta comesa, acostumen a estar recloses a tendes de tintoreria o centres de planxat on es poden permetre destinar una quantitat elevada de diners i un gran espai per aquests aparells. Per contra, la majoria de persones continua efectuant aquest treball a la seva pròpia vivenda manualment. A més, la societat actual cada cop té menys temps per dedicar a les tasques de la llar degut a l'estil de vida accelerat en el que viu la majoria de la gent, sense oblidar que les noves generacions no dominen la tasca de planxar ja que acostumen a emancipar-se cada cop a major edat.

És per aquests motius pels quals es decideix realitzar el present treball i així donar una solució a diferents problemes de la societat.

D'una banda com s'ha comentat, la població actual no dedica temps a realitzar aquesta tasca, però no es conforma amb tenir la roba plena d'arrugues ja que això és percebut com a símptoma de desídia i pot arribar a excloure a l'individu de certs grups socials.

Com es tracta d'un aparell domèstic s'ha de tenir consciència de les característiques dels habitatges de la societat. A causa de la superpoblació actual i del èxode rural accelerat⁵, el preu de les vivendes ha augmentat i degut a això cada cop més gent viu en immobles més reduïts⁶, per tant els electrodomèstics han d'ocupar poc espai i a més no han de tenir un preu molt elevat si la intenció és arribar al major nombre de consumidors. D'altra banda, és important que sigui un procés senzill, ràpid i efectiu, ja que la tendència actual de les màquines tracta de fer més còmode la interacció entre humà i màquina, és a dir, que pràcticament no requereixi d'instruccions o bé que es doni tot de forma molt pautada.

2.1.- Objectius i abast del treball

El projecte es basa en diferents procediments a realitzar per tal d'arribar a un objectiu final que és la creació d'una màquina domèstica per planxar roba en l'àrea domèstica.

Els processos a seguir es poden classificar de la següent forma:

1. Recerca d'informació sobre la ciència del planxat de teixits i de les diverses creacions per dur a terme la tasca.
2. Innovació d'un aparell que permeti realitzar el procés anteriorment descrit amb certes millores als existents.
3. Disseny de cadascuna de les parts de la màquina.
4. Simulació i verificació de la viabilitat de l'artefacte.
5. Disseny del programa per al control i l'automatització.
6. Construcció del prototip.

Aquests 6 passos fonamenten el conjunt del treball i a més ordenen la metodologia emprada. Com és evident, el primer pas necessari per a qualsevol invenció és estudiar la ciència que envolta el procés i les diferents versions creades per tal d'evitar futurs problemes o possibles rèpliques, d'aquesta forma es pot notar manifestament quins són els aspectes claus en els que cal centrar l'aparell i on poden aparèixer major dificultats.

Un cop analitzada la ciència i la tecnologia, cal endinsar-se en l'innovació, és a dir, la generació d'un seguit d'idees que permetin efectuar l'objectiu desitjat ("Brainstorming"), s'ha de tenir en compte que totes les idees que apareixen no s'han de desestimar fins que es trobin suficients inconvenients. Un cop s'ha optat per una idea en concret el següent pas és tractar de donar forma a l'enginy a partir de dibuixos o esquemes per materialitzar el concepte, en aquest cas s'utilitzarà una eina de

Disseny Assistit per Ordinador(CAD), concretament SolidWorks®, degut al coneixement de l'autor en aquest tipus de software, però qualsevol programa permetria realitzar aquest pas, de fet fins i tot dibuixos tècnics en dues dimensions sense el requeriment d'un ordinador poden servir i han servit a moltes generacions per desenvolupar artefactes. S'ha de tenir en compte, que a l'hora d'esquematitzar una peça, és necessari aplicar uns certs criteris per tal de dimensionar-la atenint a unes certes condicions, com pot ser la seguretat, l'estètica, l'economia, el funcionament i la fabricació.

A continuació, el següent punt és tractar de verificar si els elements que componen l'artefacte són eficients, observar si no trenquen o si no es deformen fins un punt en el qual el funcionament de la màquina es pugui veure afectat. També es important observar si el comportament tèrmic és l'adequat o si aspectes que envolten el camp de la mecànica de fluids són els correctes i necessaris per el tipus de màquina a crear. Aquest pas es pot realitzar usualment de dues formes, la primera és realitzant experiments al laboratori mitjançant provetes que permetin verificar tot allò que s'especifica, és un procés força realista que aporta uns resultats amb una fiabilitat suficientment estable, per contra és un procés econòmicament elevat, ja que requereix del material a emprar, de costoses màquines i de temps per tal d'analitzar els resultats i realitzar els experiments. La segona forma de poder verificar la màquina, es tracta d'utilitzar programes de simulació computacional(CAE), com ara Ansys® o Comsol®, que a partir de la discretització de l'espai i els mètodes numèrics permeten aplicar de forma senzilla equacions físiques, això permet estalviar capital i temps a l'hora d'analitzar certs elements però per contra els resultats generats són aproximats. Tot i així refinant la partició de l'espai es poden arribar a obtenir resultats força realistes.

Un cop la part mecànica ja està analitzada, cal entrar a la part elèctrica i electrònica per tal de dotar el conjunt de certa autonomia mitjançant un programa informàtic que doni ordres als diferents elements i analitzi la informació que prové dels sensors connectats a un autòmat, d'aquesta forma es pot arribar a controlar la velocitat i sentit d'un motor, activat i desactivar un relé o bé rebre la temperatura d'una certa zona de la màquina que aporti un interès especial per tal d'efectuar una acció determinada. En el cas present s'utilitzarà el llenguatge de programació C++® mitjançant Arduino® que no és més que una placa amb un microcontrolador.

Finalment, resta construir el prototip per tal d'analitzar el funcionament i determinar possibles millores, és important tenir present aquest últim punt, tot i que els passos anteriors hagin estat ben realitzats, és possible que el prototip no funcioni a la perfecció degut a certs aspectes que no s'han tingut en compte, és per això que la creació del prototip no deixa de ser un pas més fins la consecució d'una màquina que es pugui portar al mercat. L'abast del projecte finalitza en la creació del prototip, tot i així és cert que els passos següents es basarien en el perfeccionament de l'aparell a partir de diferents versions fins arribar a una que resolgui completament tots i cadascun dels problemes. Moltes empreses no arriben mai a aquest punt, ja que pot implicar un cost significant amb uns baixos beneficis que fan que no sigui rentable, s'ha de tenir present que arribar a la perfecció és una utopia en un món tant dinàmic com el que hi ha avui en dia, per tant la finalització d'una màquina s'executa quan s'acompleixen certs criteris marcats.

3. Especificacions bàsiques

En aquest apartat es detallaran els aspectes bàsics del procés de planxat de roba i les diferents patents creades per tal de realitzar aquesta tasca, des de la ciència necessària per tal d'allisar els teixits fins els elements bàsics utilitzats en totes les invencions creades explicant la funció de cadascuna d'elles per tal de tenir una visió clara de que és exactament planxar.

3.1.- Com es fabrica la roba

Per tal de poder comprendre com funciona el procés de planxat és pertinent explicar d'on provenen els teixits i com es fabriquen per acabar convertint-se en peces de roba totalment funcionals.

Aquests aspectes formen part del que es considera com a enginyeria tèxtil que prové del terme llatí "texere" i que es basava en el teixit de teles a partir de fibres. La confecció de teles o peces de roba es remunta a èpoques prehistòriques on els nostres avantpassats les fabricaven a partir d'animals o plantes per satisfer un objectiu purament funcional, aïllar el cos tèrmicament. Amb el pas dels anys i degut al descobriment de nous tipus de fibres, la vestimenta va esdevenir un aspecte estètic i de classe social que s'ha mantingut fins l'actualitat. Cap al 1750 van començar a fabricar les primeres fibres químiques (artificials i sintètiques), però no va ser fins entrats al segle XX on van aparèixer les fibres que s'utilitzen diàriament com ara polièster, nylon, elastà, entre d'altres⁷.

El procés d'obtenció de les fibres sintètiques és molt variat, però generalment s'utilitza el procés d'extrusió de plàstic i trefilat. L'extrusió es basa en aportar energia al polímer en forma de calor per tal que es fluïdifiqui i a continuació generar una pressió per tal de restringir la sortida per una matriu que conté orificis, així s'aconsegueix que el material canviï la forma inicial per transformar-se en filament. A continuació, si s'escau el polímer pot passar per un procés de trefilat on es fa passar les fibres per diferents matrius amb orificis d'àrea menor.⁸

Un aspecte interessant sobre les fibres naturals a excepció de la seda és que no són contínues, tenen longituds entre 2 i 50 cm, és per això que les sintètiques també són tallades a unes longituds semblants per tal de conferir-les un aspecte semblant, per tant es tracta del comportament de fibra curta i no de fibra llarga, quelcom important a l'hora d'estudiar-les ja que les equacions tot i que són semblants varien depenent de la longitud. Al tenir fibra curta, es facilita l'adició d'altres materials per dotar el conjunt de noves propietats, és per això, que habitualment una peça de roba no acostuma a ser d'un únic material (Figura 3.1).



Figura 3.1. Etiqueta Roba Personal-Labels.03/2019

Un cop s'han tallat les fibres, es passen per un procés d'arissada per permetre orientar a les fibres i donar-les un aspecte més natural.⁹

Finalment, es teixeixen per formar teles que posteriorment s'utilitzaran pels dissenys de vestimenta. S'ha d'entendre el teixit com un entrellaçament de diferents fibres en direccions habitualment perpendiculars, aquesta unió aporta resistència al conjunt evitant que es desfili la tela.

3.2.- La ciència del procés de planxat

Tot i que el procés de planxat s'ha tractat breument a la introducció, en aquest apartat s'explicarà de forma més detallada, explicant la formació d'arrugues a la roba i el paper de la química en l'allisat de la vestimenta.

El primer pas per tal d'entendre el funcionament del planxat, és comprendre la formació de plecs. Com s'ha enunciat anteriorment, la roba està composta per fibres polimèriques, aquest material es forma habitualment a partir d'unions repetitives de monòmers (molècules) que s'uneixen les unes amb les altres mitjançant enllaços covalents, aquests tipus d'enllaços són força rígids el que fa difícil que es separi una molècula d'una altra formant així una cadena macromolecular resistent. No obstant, les cadenes també s'enllacen entre elles, però en aquest cas sovint per ponts d'hidrogen, forces electrostàtiques amb menor rigidesa que els covalents a partir d'un àtom d'hidrogen i un àtom electronegatiu¹⁰.

Els plecs o arrugues es poden formar comunament a partir de dos processos.

D'una banda, quan es renta la roba les molècules d'aigua s'insereixen dins les fibres, aquestes molècules degut a la seva composició formen dipols permanents, és a dir, tot i que l'aigua és elèctricament neutra, les càrregues no es troben orientades simètricament, a prop de l'oxigen hi ha més càrrega negativa i per contra a prop de l'hidrogen queda més càrrega positiva, al entrar en contacte amb els ponts d'hidrogen que mantenen unides les fibres de la roba es creen atraccions i repulsions elèctriques que trenquen aquests enllaços i les cadenes queden aïllades. La força que imparteix la rentadora a causa de l'acceleració centrífuga contra les fibres fa que es col·loquin de forma aleatòria creant així les arrugues.

D'altra banda, quan es deixa una peça de roba a l'habitació sense especial cura, el procés és força semblant. L'aigua que conté l'aire, és a dir, l'humitat i la temperatura del recinte fa que els enllaços s'estovin, a continuació la força de la gravetat acaba plegant les fibres. Posteriorment aquests ponts d'hidrogen que s'han trencat tornen a refer-se però no tenen força suficient com per estirar les cadenes i queden rígides però plegades, és per això, que no és una tasca senzilla tractar d'eliminar arrugues¹¹.

El segon mecanisme que afavoreix la creació de plecs és la combinació de temperatura i pressió, a l'aplicar una certa quantitat d'energia al polímer les seves partícules vibren augmentant així la temperatura del conjunt. Si es supera un cert valor de temperatura (temperatura de transició vítria), el polímer perd rigidesa i és fàcilment modelable, el seu mòdul elàstic disminueix bruscament, el que facilita la creació de deformacions notables a l'aplicar una pressió no massa elevada, posteriorment al reduir la temperatura l'estructura es torna rígida formant els plecs.

Un cop entès el procés de formació d'arrugues, és moment d'endinsar-se en la ciència del planxat, que curiosament utilitza els mateixos mecanismes que generen els plecs a la roba, és a dir, aigua, temperatura i pressió.

Pràcticament el procés utilitzat per totes les màquines de planxar és el mateix. Inicialment, s'aplica calor al teixit per augmentar la temperatura d'aquest fins que les fibres perdin duresa i rigidesa, és a dir, els enllaços es debiliten, a continuació s'aplica aigua per tal que les molècules permetin trencar els enllaços que uneixen les cadenes i finalment mitjançant l'aplicació de pressió es reorienten les fibres per deixar-les totalment estirades. El vapor d'aigua aporta uns avantatges obvis per realitzar aquesta tasca, d'una banda el vapor no és més que l'estat gasós de l'aigua i per tant conté molècules d'aquesta substància que com s'ha esmentat ajuda a separar les cadenes polimèriques, d'altra banda, conté una gran quantitat d'energia en forma de calor, ja que l'aigua té una capacitat calorífica molt elevada, és a dir, es capaç d'emmagatzemar molta energia en un espai reduït i al ser aplicada a la roba amb certa pressió es produeix una convecció forçada, que es un dels mecanismes de transferència de calor més eficients. Però a menys que s'apliqui una força, les cadenes polimèriques únicament s'estovaran, és per això que és important generar una certa pressió que situï a les fibres en la posició desitjada.

De forma simplificada, el procés de planxar es basa en crear arrugues llises a una peça de roba.

3.3.- Patents realitzades sobre màquines de planxar

Un cop analitzada la ciència del procés de planxar és transcendent observar la tècnica i les diferents innovacions que han aparegut per poder crear una solució a aquest problema. S'ha de comentar però que al llarg de la història s'han anat generant una gran quantitat d'invencions que donarien per un projecte sencer¹², és per això, que aquest apartat es centrarà en esmentar les màquines que han tingut un major recorregut i els artefactes creats per tal d'automatitzar el procés. També és important comentar que s'anomenaran únicament aquells aparells que utilitzaven una font de calor per funcionar, ja que també van existir les plegadores, que tractaven d'allisar la roba únicament amb pressió, com s'ha comentat únicament amb l'aplicació de pressió resulta força complex obtenir un resultat òptim.

3.3.1.- Planxa Grega

No es pot iniciar el recorregut per les diferents tipologies de planxes sense especificar quina va ser la primera planxa de la història. La planxa va ser inventada a Grècia al segle IV a.C. i no era més que un cilindre de ferro que s'escalfava i es feia passar pels teixits per tal de conferir plegats en certes zones i allisar el conjunt¹³.



Figura 3.2.- Cilindre de ferro grec utilitzat per planxar. S IVa.C. Museo de la Plancha.Mexico

Evidentment aquest sistema tenia uns grans desavantatges, principalment tota la superfície era de ferro, a l'augmentar de temperatura i entrar en contacte amb l'ambient el procés d'oxidació s'accelera i les restes corrosives es dipositaven al teixit, d'altra banda, la superfície de contacte és pràcticament lineal i dificultava el procés d'allisar de

la roba, a més no comptava amb un sistema que anés proporcionant calor i per tant s'havia d'anar escalfant i refredant contínuament. Cal esmentar també que l'efecte de l'aigua en aquesta invenció no hi era present i per tant el procés s'alentia.

3.3.2.- Planxa Xinesa

Posteriorment cap al segle IV d.C. a l'antiga Xina es va desenvolupar un artefacte que millorava alguns dels desavantatges anteriors. Es tractava d'un recipient metàl·lic per col·locar carbó amb una àrea inferior plana per tal d'allisar els teixits¹³.



Figura 3.3.-Planxa de llautó del segle IV d.C. Xina

Aquest aparell permetia una transferència de calor més contínua que en el cas anterior, amb una superfície llisa que abastava major quantitat de tela i un mànec aïllant. Tot i així l'aportació d'energia no era del tot constant, estava descoberta fet que minora l'eficiència de la transferència de calor. La forma ovalada de la superfície inferior genera una certa complexitat a l'hora d'allisar cantonades.

3.3.3.- Planxa del segle XVII

Durant el 1600, es van desenvolupar una gran quantitat d'artefactes per assolir un millor planxat, tots tenien avantatges respecte dels altres, però es fonamentaven en el mateix principi i les mateixes dimensions.

Es tractava d'un recipient tancat habitualment de ferro on s'hi dipositaven brases a l'interior, amb un mànec a la part superior de fusta.



Figura 3.4.- Planxa italiana del segle XVII. Virtual Museum of Textile Arts.Italia

Aquest disseny tot i que molt similar al xinès, augmentava l'eficiència de la transferència de calor, ja que no estava descobert, a més la forma de la superfície inferior permetia arribar a totes les zones del teixit i la situació del mànec facilitava l'aplicació de pressió. Tot i així totes aquestes planxes tenien un problema comú que es

devia al procés d'aportar energia, el negre de fum o sutge del carbó tacava la roba i feia poc útil el procés de planxar¹⁴.

3.3.4.- Planxa elèctrica

No va ser fins el 1882, on el món de l'electricitat començava a viure una revolució que Henry W. Seely va patentar a Nova York, la primera màquina de planxar que funcionava mitjançant corrent elèctric. Si bé és cert, durant els anys anteriors, s'havien anat dissenyant planxes que substituïen les brases per l'aportació de calor a partir de gas, gasolina o escalfant aigua, però no acabaven de captar l'atenció social.

La patent de Seely es va basar en utilitzar l'efecte Joule a partir d'una resistència elèctrica connectada a la base metàl·lica, però no va ser comercialitzada fins els anys 20(1924), ja que l'electricitat no es trobava a totes les vivendes i per aquells anys Joseph W. Myers va incloure el termòstat per tal de permetre controlar la temperatura¹⁵.

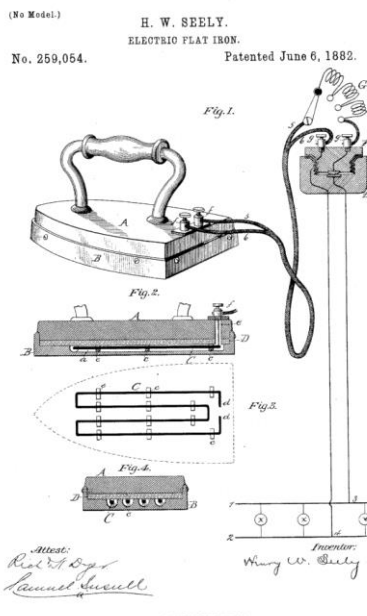


Figura 3.5.- Patent de la primera planxa elèctrica. Henry Seely.1882.US Patent 259054

Com il·lustra la figura 3.5, el disseny i el funcionament pràcticament no ha canviar des d'aleshores. Però cal fixar-se en un aspecte i és que aquest artefacte allisava les arrugues sense utilitzar vapor d'aigua el que alentia la tasca i la feia menys eficient. A més, un altre problema que encara no s'havia solucionat era l'elevat pes de la màquina. Com a curiositat, va ser gràcies a la màquina de planxar elèctrica que es va poder disposar d'electricitat durant tot el dia a Estats Units, ja que anteriorment únicament s'entregava a les hores de foscor i Earl Richardson, un revisor de comptadors, es va adonar que les mestresses requerien d'electricitat durant el dia per poder utilitzar els aparells domèstics i va proposar als comerciants que entreguessin electricitat durant tot el dia i d'aquesta forma els beneficis s'incrementarien¹⁶.

3.3.5.- Planxa elèctrica a vapor

Dos anys més tard que Joseph W. Myers afegís el termòstat a la planxa de Seely, l'empresa Eldec Company®, va crear la primera planxa elèctrica a vapor que contenia únicament un orifici. Aquest aparell va revolucionar les llars de tot el món ja que millorava l'eficiència, i repartia el calor uniformement. A partir d'aleshores, les següents empreses van anar modificant certes parts o materials, però contenien bàsicament els mateixos elements.



Figura 3.6.- Primera planxa a vapor. Eldec Company.1926.Nova York

Arribats a aquest punt, es creu pertinent explicar les parts principals de les màquines de planxar que són utilitzades actualment.

S'ha de diferenciar principalment entre dos tipus de màquines, els centres de planxat per una banda i les planxes de vapor. La diferencia principal és la potencia, el caudal de vapor, el dipòsit d'aigua i l'aspecte econòmic. Els centres de planxat generen vapor a la base de la màquina i permeten arribar a pressions de vapor molt més elevades, aproximadament uns 4 bars a diferència de les planxes de vapor que arriben al bar de pressió. D'altra banda, el caudal constant que poden arribar a oferir els centres de planxat és d'uns 120g/min i les planxes de vapor poden arribar fins als 80g/min. A més el dipòsit permet albergar major quantitat d'aigua, acostumen a superar el litre i mig en canvi les planxes de vapor solen arribar com a molt al litre d'aigua, això permet incrementar l'autonomia en casos en els que s'hagi de planxar una gran quantitat de roba.

Els aspectes anteriors avantatgen els centres de planxat en vers de les habituals màquines però hi ha un aspecte clau que evita la desaparició de les planxes a vapor i és l'aspecte econòmic, de mitjana un centre de planxat pot arribar a costar el doble que una planxa domèstica¹⁷.

Els elements principals d'una planxa de vapor són els següents:

- Dipòsit d'aigua
- Bomba d'aigua
- Resistència elèctrica
- Superfície de contacte
- Termòstat

El dipòsit d'aigua s'encarrega d'emmagatzemar l'aigua que s'anirà evaporant. Habitualment s'aconsella que sigui aigua destil·lada ja que l'aigua de l'aixeta conté un alt contingut en calç i pot obstruir la circulació del fluid, per solucionar aquest problema, moltes empreses incorporen un filtre de calç que s'ha d'anar canviant periòdicament.

A continuació, es situa la bomba d'aigua que permet mantenir un caudal màssic constant d'aigua i una certa pressió, degut a que els caudals no acostumen a ser força elevats, les bombes utilitzades són peristàltiques o de diafragma, aquestes es tracten de bombes de desplaçament positiu, és a dir, permeten mantenir un caudal constant a diferents pressions o per contra una pressió constant a diferents caudals¹⁸.

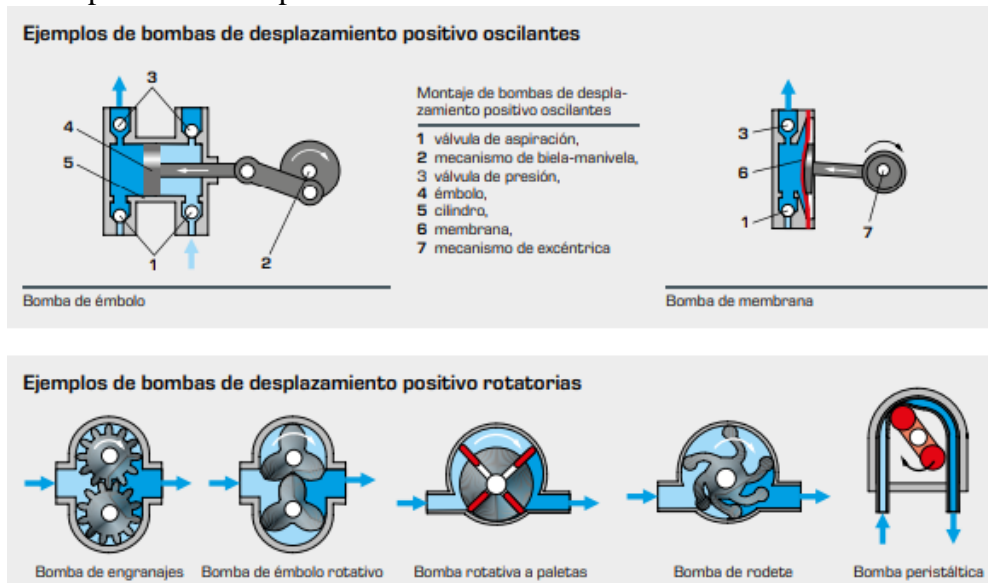


Figura 3.7.- Exemples de diferents bombes de desplaçament positiu. Font Gunt Hamburg.Alemania.2019

La resistència elèctrica és l'element clau en tot el sistema ja que s'encarrega d'aportar calor mitjançant efecte Joule, és a dir, la dissipació d'energia en forma de calor al pas d'un corrent elèctric, habitualment aquestes resistències treballen a 220 volts AC i depenent del tipus de planxa consumeixen entre 1 i 2 kW. Acostumen a situar-se a la zona de la sola de la planxa i properes a la canonada per on passa l'aigua, d'aquesta forma es permet augmentar la temperatura dels dos cossos simultàniament.

La superfície de contacte, és la part de la màquina que allisa la roba i permet aplicar pressió al teixit, és important que el coeficient de fricció entre ambdós materials no sigui força elevat ja que del contrari podria crear plecs i a més ha de permetre una eficient transferència de calor, és a dir, ha de tenir una alta conductivitat tèrmica. Entre els principals materials utilitzats per assolir aquest objectiu es troben l'alumini, l'acer inoxidable, ceràmiques i el pal·ladi. L'alumini té una alta conductivitat tèrmica però a certes temperatures augmenta la rugositat, tot i així és el material més econòmic. L'acer inoxidable té una gran quantitat de prestacions, tant en l'aspecte funcional amb una alta conductivitat i un baix coeficient de fricció, però també en l'aspecte estètic i de fabricació, és relativament senzill de poder fabricar amb gran varietat de processos. Les ceràmiques d'altra banda reparteixen uniformement el calor i permeten un lliscament molt suau, a més són fàcils de netejar, però habitualment estan més restringides en termes de fabricació.

Finalment, el pal·ladi tot i no ser el més utilitzat reuneix totes les característiques però és econòmicament més costós¹⁷.

El termòstat, no és més que un regulador de temperatura que permet mantenir un valor concret al llarg del temps, ha d'anar connectat a la corrent i habitualment requereix d'un microcontrolador. D'aquesta forma s'eviten escalfaments excessius i totes les fibres adquireixen la mateixa quantitat d'energia de mitjana.

3.3.6.- Màquines domèstiques de planxat automàtic

Degut a que el present treball es basa en la creació d'una màquina domèstica que permeti realitzar la tasca de planxar de forma automàtica, es considera necessari mostrar els diversos automatismes que s'han creat per dur aquest propòsit, i així un cop endinsats en el projecte el lector pugui observar certs aspectes provinents de la part d'investigació prèvia.

3.3.6.1.- Effie® i Swash®

L'empresa anglesa Effie® ha nascut amb la promesa revolucionària d'acabar amb el procés de planxat tradicional i portar aquesta tasca al món de l'automatització. S'ha de comentar que tot i que es va donar a conèixer a principis de 2017, a dia d'avui encara no s'ha comercialitzat. No obstant això, es considera apropiat introduir-la en aquest apartat degut a que conté aspectes rellevants a destacar.



Figura 3.8.- Prototip Effie®. Font:Effie®, Royston.2019

El funcionament s'inicia col·locant un conjunt de com a màxim 12 peces de roba en un penjador plegable, com mostra la figura 3.8. A continuació, s'abaten les portes i com si d'una cinta transportadora es tractés, la roba va endinsant-se a l'interior. Arribats a aquest punt, dos prismes rectangulars mòbils pressionen i escalfen cada cara del teixit a partir de vapor pressuritzat des de la part superior fins la inferior. El sistema té la possibilitat de perfumar els teixits a partir de càpsules aromàtiques que la pròpia empresa proporciona.

Un cop finalitzat el procés, la roba es situa en un penjador oposat al inicial a l'espera de ser guardada pel client¹⁹.

Com es pot observar, es tracta d'una màquina totalment automàtica que permet un planxat en sèrie sense la necessitat de que l'usuari es trobi present, concedint així un temps valuós al client que el pot destinar als seus afers, aproximadament 6 minuts per peça de roba¹⁹. Tanmateix és pertinent detallar certs aspectes que podrien suposar uns desavantatges.

El primer matís a comentar, és el propi funcionament. Si bé és cert que l'aparell conté els elements fonamentals per tal d'assolir un planxat de qualitat (temperatura, pressió i vapor) no s'ha de menystenir el fet que són aquests mateixos elements els generadors d'arrugues a la roba. Si posicionem una peça de roba, per exemple una camisa, en un penjador, la part central queda força estirada degut a que la gravetat es paral·lela a la direcció del teixit, però això no ocorre amb les mànigues, les fibres es troben a un cert angle respecte de la gravetat. Això provoca que a la zona d'unió entre mànigues i cos central la peça de roba quedi plegui, si a continuació s'afegeix pressió, temperatura i vapor l'arruga queda permanent.

El segon punt que pot resultar desavantatjós són les dimensions. Té una alçada de 1280mm, una amplada de 800mm i una profunditat de 250 mm. Tal i com s'ha comentat a la introducció, la població està vivint en habitatges cada cop menors, degut a les dimensions que ocupa la màquina fa que sigui difícil poder guardar-la en un armari o en alguna zona que no limiti l'espai vital.

Finalment, l'últim aspecte que pot excloure a una gran part de la població és el preu actual de l'aparell. L'empresa pretén treure al mercat la màquina per 970\$ que esdevindrien uns 870€, degut a l'augment en la desigualtat econòmica actual, l'aparell no tindria accés en la majoria d'habitatges i quedaria exclòs a una població amb alt poder adquisitiu. Habitualment aquests tipus de persones, si ho desitgen, tenen la possibilitat de pagar un servei que efectui aquesta tasca i per tant la màquina podria no resultar tan efectiva.

Pel que fa a l'empresa Whirlpool®, la màquina Swash®, és força semblant a l'anterior, però en aquest cas, incorpora un seguit de pinces per tal de que les fibres es situïn en la direcció correcta. Aquesta màquina no permet un procés en sèrie i el més destacable és que realment no planxa sinó que dona un acabat mitjançant càpsules aromàtiques i aire calent.



Figura 3.9.- Swash. WhirlPool. 28/03/19. Benton Harbor, Míchigan, EEUU.

El pes és d'uns 40kg el que fa que sigui complex de transportar i té unes dimensions majors a les del cas anterior.

3.3.6.2.- Dressman TJ10100 de Siemens

L'empresa Siemens®, també ha volgut endinsar-se dins el món de les màquines automàtiques per planxar, fet que reafirma la necessitat d'un aparell d'aquest estil.

El disseny i funcionament de "Dressman" és totalment innovador respecte als casos anteriors i a la tipologia d'artefactes generats fins l'actualitat.

És bàsicament un maniquí de tela de paracaigudes on s'hi col·loca la peça de roba a planxar. Mitjançant un compressor d'aire augmenta el seu volum inflant-se i a partir d'una resistència elèctrica cedeix calor a l'aire de l'interior que és transmès a la peça de roba. La màxima temperatura de la tela del maniquí pot arribar fins a 90°C, com es pot notar aquesta temperatura no és tan elevada com les de les màquines actuals i això permet evitar riscos de lesions per cremades lleus²⁰.



Figura 3.10.- Dressman Siemens. 28/03/19. Múnich.Alemanya

Aquest robot de Siemens té dos dels tres elements principals per realitzar un planxat de qualitat que són, la temperatura i la pressió. Manca la presència de vapor en aquest aparell, és per això que els fabricants recomanen que si es precisa d'un planxat de qualitat la roba ha d'estar humida, és a dir, posteriorment al rentat de roba la màquina pot funcionar de forma excel·lent, però si es té una camisa que degut a la posició en la que estava ha generat arrugues, s'ha d'humitejar-la per poder utilitzar l'aparell de forma eficient. Aquest aspecte genera un cert desavantatge, però s'ha de tenir en compte que el sistema no necessita un dipòsit d'aigua, el que concedeix a aquesta màquina un punt favorable, ja que evita problemes de control, manteniment i alerta de l'usuari en casos en els que falti aigua.

Un detall rellevant a comentar és que no pot arribar a eliminar arrugues de peces de roba com ara, pantalons, faldilles o roba interior. D'altra banda el robot permet plegar-se un cop finalitzat el procés i així ocupar menys espai²⁰.

Va sortir al mercat l'any 2005 per 1300€ i actualment s'ha anat copiant per altres marques que han arribat a abaratir-lo fins només 60€, però minorant l'eficiència.

3.3.6.3.- Foldimate®

Aquesta empresa situada a Califòrnia, Estats Units, ha creat una màquina que ha revolucionat el món de la domòtica i que ha estat a la fira mundial més important de robòtica (CES2018). Segons comenten els fabricants permet planxar, perfumar i plegar la roba per tal que quedi llesta per guardar. Tot i que sembla la màquina definitiva, es troba encara en vies de fabricació, únicament s'han realitzat prototips que a priori funcionen correctament, però segons es detalla no elimina arrugues, sinó que permet donar un acabat final a una peça de roba.

S'ha considerat ubicar aquesta màquina al procés d'investigació, ja que tot i que no realitza un planxat de qualitat té una gran quantitat d'aspectes a considerar respecte màquines domèstiques que funcionen automàticament.



Figura 3.11.- FoldiMate. Califòrnia. Març 2019

Bàsicament l'aspecte més rellevant d'aquest aparell és la facilitat de l'usuari a l'hora de col·locar la roba. El consumidor únicament ha de situar la vestimenta a les pinces superiors i la màquina realitza tot el procés, a més permet albergar una gran quantitat de roba ja que un cop plegada aquesta ocupa un volum inferior i es pot anar apilant sense cap inconvenient. A més, un aspecte que ha sorprès a gran part de la població és la velocitat que s'estima en aproximadament 4 segons, un temps molt notori si es compara amb els anteriors invents.

Un punt feble de l'aparell són les dimensions i el cost. Ocupa un espai de 1250x800x600 mm, pràcticament com un armari de dues portes i actualment el preu ronda els 980\$, això fa que, com en els anteriors casos, sigui complex accedir a gran part de la societat.

4. Descripció i presentació del treball desenvolupat

En el present apartat es descriurà el camí transcorregut fins assolir l'objectiu desitjat. S'exposaran els diversos dissenys fallits que han permès crear una base sòlida per tal d'arribar a una solució fiable i eficaç. Es detallarà el conjunt de càlculs i simulacions computacionals que doten de viabilitat al projecte i es mostrarà la solució adoptada especificant cadascuna de les seves parts.

4.1.- Dissenys inicials

A l'endinsar-se en el món de la innovació, habitualment el camí que es transcorre no és totalment lineal, es compon de multitud de corbes que s'acaben deixant enrere per tal d'arribar a la solució definitiva. Aquests camins tot i no ser els definitius aporten aprenentatge i són cabdals per poder desenvolupar un projecte. És per això que es considera necessari descriure'ls per tal de comprendre el desenllaç amb tots els seus matisos.

En cada disseny realitzat, es comentarà el funcionament, les parts que el componen i les limitacions que han induït a la desestimació del mateix.

4.1.1.- Prototip 1

El primer prototip que es va tractar de desenvolupar constava d'un xassís en forma de marc rectangular on la vestimenta era col·locada mitjançant un penjador.

A partir d'un sistema de generació de vapor connectat a un dipòsit d'aigua adjacent, la peça de roba era allisada. El vapor es desplaçava des de la part superior fins la inferior del teixit gràcies a un conjunt de motors connectats a un vis sens fi. A la figura 4.1 es mostra una representació simplificada del sistema.

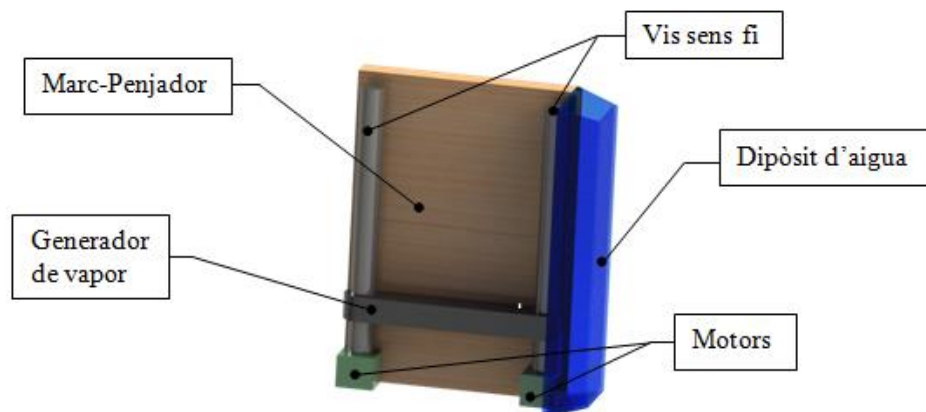


Figura 4.1.- Disseny primer prototip. Imatge pròpia. 20/11/2018

Com il·lustra la figura anterior, en blau es pot observar el dipòsit de grans dimensions, el motiu del qual era evitar la necessitat d'estar pendent constantment per part del consumidor de la manca d'aigua. En negre es mostra el difusor de vapor, aquest conté un conjunt de sortides en la direcció del marc que permeten l'evacuació del vapor

generat al seu interior, el generador a més, està connectat als dos vis sens fi que possibiliten el moviment ascendent i descendent del mateix gràcies a dos motors.

Com es pot aventurar, aquest sistema és un dels més simples en relació a la creació d'una màquina automàtica de planxat, però conté una gran quantitat d'aspectes que redueixen la viabilitat del sistema.

Per una banda, la màquina hauria de ser clavada a una superfície vertical per tal de poder ser utilitzada, ja que si fos situada horitzontalment dificultaria en excés la col·locació de la vestimenta, per resoldre aquest aspecte es va tractar de situar una bancada a l'aparell facilitant així el transport, però per contra les dimensions augmentaven i disminuïen la practicitat del sistema, ja que un dels aspectes claus a l'hora de crear la màquina era que ocupés un espai ínfim per tal que els consumidors no haguessin de comptar amb un habitatge molt espaiós.

D'altra banda, no existeix cap punt de pressió a la peça de roba, el que dificulta l'eliminació de les arrugues tal com es va explicar a l'apartat 3.2 i tot i que la part central pogués quedar allisada, les zones laterals, per exemple, les mànigues d'una camisa, al no tenir una posició fixada i dependre únicament de la gravetat quedarien arrugades al pas del vapor.

A més un altre aspecte a considerar, és l'ergonomia aplicada a la facilitat per part de l'usuari de col·locar la vestimenta, en aquest cas el disseny de l'aparell dificultava el posicionament de la roba ja que havia de quedar compresa entre el marc i el generador de vapor.

Finalment, tot i que té una certa semblança a la màquina Effie® (veure apartat 3.3.6.1), no disposa d'un sistema de planxat en sèrie i per tant seria una tasca complexa entrar al mercat competitiu.

Aquestes limitacions derivaven en un canvi necessari de disseny que tractés de millorar certs aspectes inexistents en el prototip inicial. No obstant, aquesta primera aproximació té un cert valor informatiu, ja que permet notar certes mancances que podrien ser útils a l'hora de prosseguir amb el camí cap a l'objectiu desitjat.

4.1.2.- Prototip 2

El segon tipus de disseny que es va dur a terme pretenia evitar els errors que s'havien determinat en el cas anterior, com era el planxat en sèrie, l'aplicació de pressió a la roba, el posicionament d'aquesta i la reducció en les dimensions de l'aparell, tractant d'arribar a un preu de venda econòmic i competitiu.

Per tal d'assolir aquests requeriments es va innovar un aparell totalment diferent dotat d'un sistema de planxat en sèrie que consistia en una corretja dentada on s'acoblarien unes barres mitjançant unes pinces termosoldades, aquestes barres farien la funció de penjador. La corretja s'aniria desplaçant per un camí corbat gràcies a la tensió de politges situades als punts de rotació. La vestimenta, es mouria amb el sistema i passaria a l'interior de la màquina on mitjançant una premsa s'aniria aplicant vapor i pressió al teixit a mesura que s'anés desplaçant. Al finalitzar el recorregut les peces de roba s'anirien situant al costat oposat de l'aparell per tal de ser recollides per l'usuari.

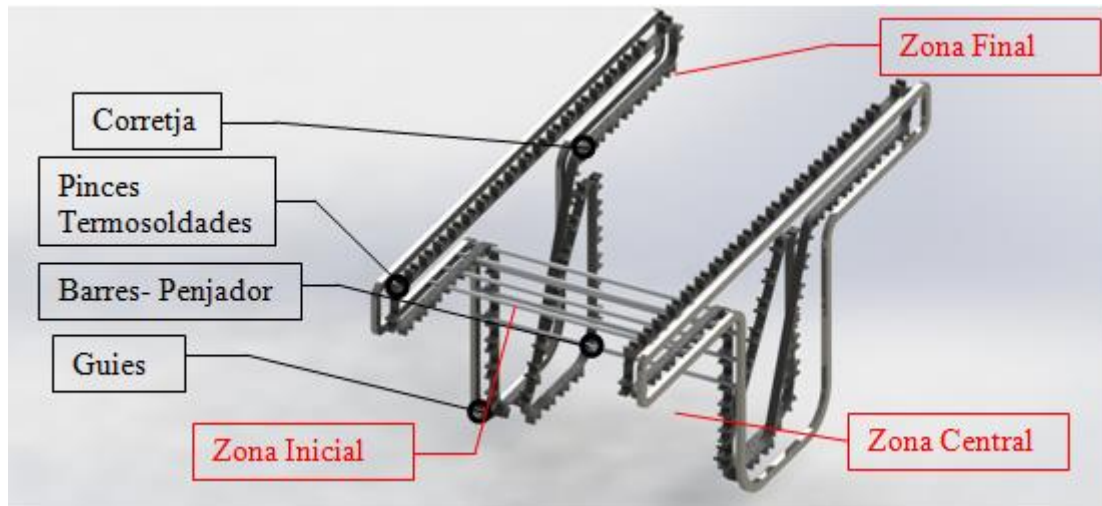


Figura 4.2.- Prototip 2. Imatge Pròpia. 17/12/18



Figura 4.3.- Prototip 2 barres amb corretja. Imatge Pròpia. 17/12/18

Com es pot observar a la figura 4.2 i 4.3 l'usuari penjaria la vestimenta a les barres, aquestes mitjançant el moviment de la corretja s'anirien desplaçant per tot el recorregut, un cop arribat a la zona central de la màquina, una plataforma dirigiria vapor al teixit mentre aquest es va desplaçant.

La peça de roba quedaria compresa entre el generador de vapor i una superfície rugosa que permetria crear tracció a les fibres, millorant l'eficàcia del planxat. A continuació, la part superior de la roba passaria per un corró rugós que evitaria que la part del teixit que encara es trobés a la zona central s'elevés degut al moviment de la corretja, permetent així que les fibres quedessin en tensió.

Finalment, la roba es situaria a la zona final de la màquina llesta per poder ser extreta per l'usuari.

Un cop retirada la vestimenta, les barres passarien per la part superior de la màquina per tornar a la zona inicial.

En un inici, es va pensar en situar una única corretja que recorregués tot l'aparell, però cal notar que si fos així, al fer passar una peça de roba per la zona central, seguidament la següent vestimenta s'apil·laria a sobre d'aquesta a menys que es deixés un espai igual a l'alçada de la camisa entre penjador i penjador, el que incrementaria notablement les

dimensions de la màquina. És a dir, a la zona on s'hi produís el planxat s'acumularien varies peces de roba, el que faria impossible realitzar un planxat eficient.

Per tal de resoldre aquest problema, es va optar per situar dos conjunts de corretges. La primera mouria la vestimenta des de la zona inicial fins la zona central, en aquest punt, pararia i el segon sistema de corretja mouria la barra amb la peça de roba per la zona central fins la zona final on de nou tornaria a ser recollida per la primera corretja. Per tal de poder entendre amb facilitat aquest sistema, el lector pot imaginar com si les peces de roba estiguessin col·locades en una cinta transportadora inicial i quan arriben al final, la cinta roman parada i la peça de roba és transportada per una segona cinta adjacent d'una en una. Així el problema inicial quedava resolt, però aquest sistema proposava nous reptes, com ara desencaixar la barra de la primera corretja per ser recollida per la segona i d'altra banda un possible desajust en les corretges degut a la seva flexibilitat.

Per resoldre els nous inconvenients es va optar per substituir les corretges per cadenes, ja que eren més rígides i no provocarien excessius problemes a l'hora de tensar la roba ni aguantar el pes i es va dissenyar un mecanisme a partir de palanques que facilitava l'intercanvi entre cadenes.

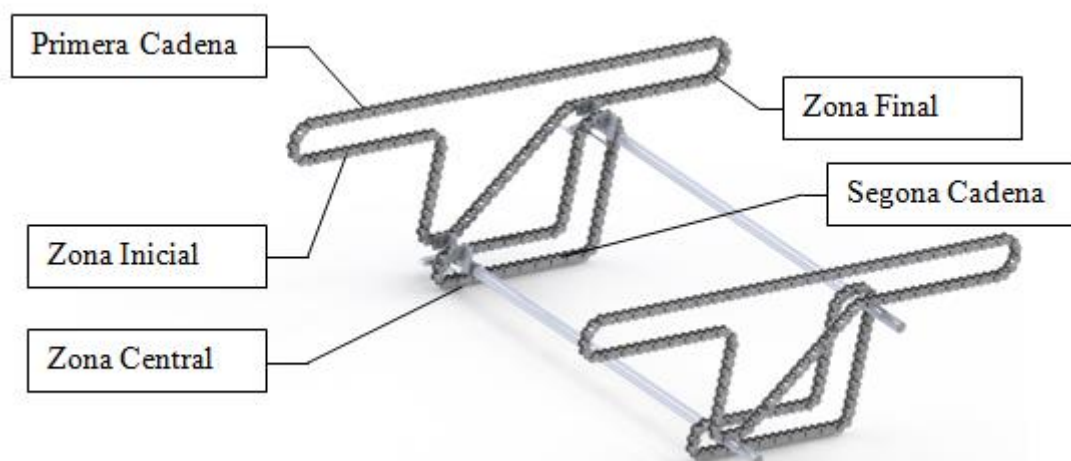


Figura 4.4.- Sistema amb cadenes Prototip 2. Imatge Pròpia. 23/12/18



Figura 4.5.- Mecanisme intercanvi cadenes prototip 2. Imatge Pròpia. 23/12/18

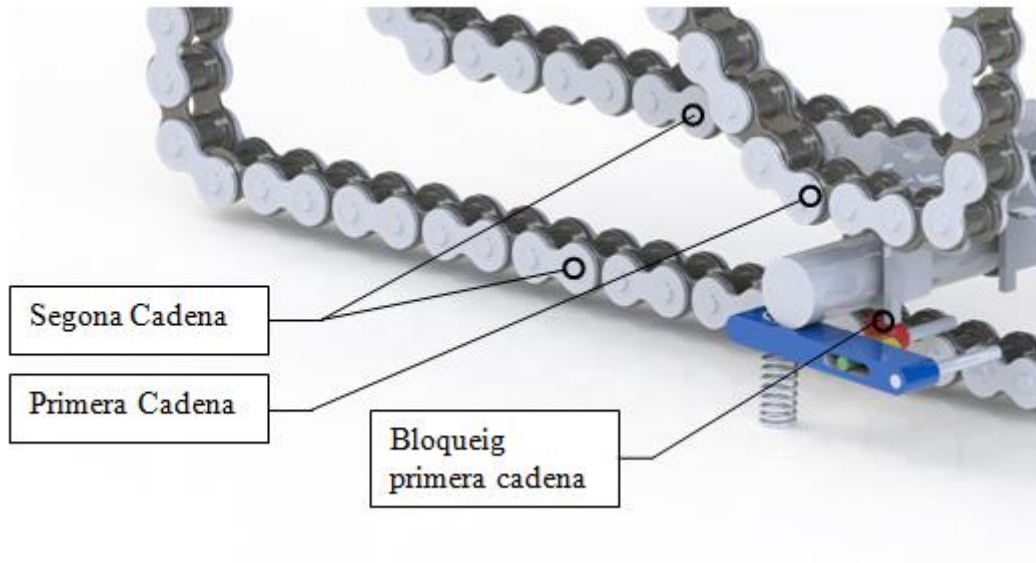


Figura 4.6.- Mecanisme intercanvi cadenes i barra prototip 2. Imatge pròpia. 23/12/18

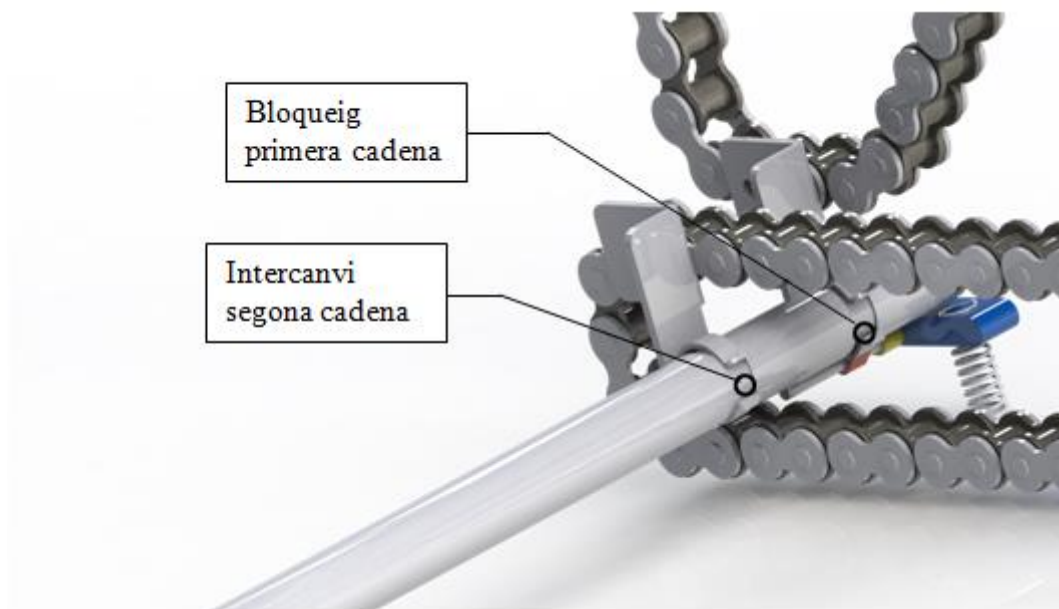


Figura 4.7.- Bloqueig i intercanvi cadenes prototip 2. Imatge Pròpia. 23/12/18

Les figures anteriors permeten visualitzar les modificacions. Com es pot veure a la imatge 4.6, la part blava del mecanisme pivota per l'extrem dret i va connectada a una molla a l'extrem esquerre, per tal de retornar-la a la posició inicial. Quan la barra que transporta la roba passa per sobre de la part blava aquesta gira comprimint la molla i a l'hora l'eix verd (figura 4.5) es desplaça permetent que la palanca vermella giri en direcció oposada a la blava.

La palanca vermella bloqueja el suport on va connectada la barra que transporta la roba i així la segona cadena pot realitzar l'intercanvi. El mateix sistema s'utilitza per passar de la segona cadena a la primera al final del procés.

Un cop la part mecànica de la màquina estava resolta calia qüestionar el planxat del teixit i va ser en aquest punt on es va desestimar la viabilitat de l'aparell.

Tot i que en un inici la proposta semblava definitiva, quan es tractava d'avaluar si el planxat del teixit seria eficaç es va notar que generava una gran quantitat de problemes.

Si es feia passar una camisa fins la zona central, les mànigues d'aquesta no quedaven restringides i per tant es podien moure amb total llibertat, fent ineficaç el planxat. D'altra banda es va proposar majorar la mida de la zona central per poder encabir-les però això comportava un augment significatiu de les dimensions. No obstant això, es va idear una forma de col·locació de les mànigues en forma de creu que evitarien aquest problema, però en creaven d'altres, com ara plecs en certes zones antiestètiques o reducció en l'ergonomia per part de l'usuari a l'hora de penjar la roba.

A més s'havia de tractar de solucionar altres inconvenients com ara, què succeïa si es planxava per sobre de botons o com reduir l'esforç del motor quan hi havia una gran quantitat de roba penjada.

Arribats a aquest punt, es va decidir tornar a canviar el disseny de la màquina marcant com a aspectes claus els següents:

- Procés de planxat idoni
- Dimensions reduïdes.
- Facilitat per part de l'usuari.

4.1.3.- Prototip definitiu

Cal comentar abans de prosseguir, que en el present apartat s'especificarà únicament el camí seguit per tal d'arribar al prototip definitiu. L'explicació de les diverses parts constituents i els càlculs de cadascuna de les parts es determinaran en propers apartats.

Un cop decidits els aspectes principals que la màquina havia d'assolir i amb l'experiència de les versions anteriors es va dissenyar un aparell que pogués plegar-se un cop finalitzat el planxat, per tal de reduir les dimensions..Com a conseqüència d'aquest punt es va optar per no fer una màquina de planxat en sèrie tot i que podrien realitzar-se certes adaptacions en un futur.

D'altra banda un dels aspectes claus era realitzar un planxat idoni, és a dir, que permetés allisar cadascuna de les zones d'una peça de roba de forma eficaç(mànigues, coll, faldilles, etc.).Per poder realitzar aquesta tasca s'havia de dotar a cadascuna de les parts de la vestimenta de pressió, temperatura i vapor tenint en compte la direcció original de les fibres del teixit i considerar zones com ara els botons d'una camisa o uns pantalons per tal que no generessin cap problema. Finalment, havia de tractar-se d'una màquina que simplifiqués l' intervenció de l'usuari, és a dir, que la col·locació de la roba i l'accionament de l'aparell fos intuïtiu i que no suposés una gran quantitat de temps.

Amb tots aquests aspectes presents, principalment es va optar per un planxat vertical, degut a que una superfície horitzontal comportava problemes de posicionament de la roba, com passava amb el prototip 2 i dificultava un dels punts a aconseguir, l'ergonomia.

D'altra banda, per tal que el planxat sigui òptim es decideix situar un parell de difusors de vapor a cada banda del teixit, per tal de poder accelerar el procés i arribar a cadascuna de les zones de la roba, aquests difusors entren en contacte amb la vestimenta cedint calor a les fibres, a més han de permetre un cert desplaçament per evitar que botons,perxa o certs elements no suposessin un problema afegit al correcte funcionament de l'aparell.

Respecte a l'aplicació de tensió a les fibres, s'assoleix per part del consumidor, aquest al situar la peça de roba al penjador estira cadascuna de les seves parts mitjançant un mecanisme semblant al de la màquina Swash®(Figura 3.9) unes pinces que deixen en tensió tot el conjunt.

L'últim aspecte a assolir eren les dimensions, habitualment les màquines automàtiques limiten una gran quantitat d'espai, això és degut a que estan dissenyades d'acord als estàndards de les peces de roba actuals. En el cas del prototip definitiu aquestes dimensions s'han de respectar per tal que l'aparell funcioni, però un cop finalitzat el procés no existeix cap requeriment que obligui a ocupar aquest espai, és per això que es decideix crear un mecanisme articulat que permeti plegar la màquina deixant unes dimensions finals pràctiques per poder ser emmagatzemada.

Un punt que no s'ha comentat, però que pot dificultar que la màquina sigui guardada és el pes. Tal i com s'ha anat veient a l'apartat 3.3.6 la majoria de les màquines automàtiques tenen una massa considerable que obliga a mantenir els aparells en una posició estacionària, és per això que s'ha tractat d'utilitzar materials amb baixa densitat tractant de reduir al màxim el pes.

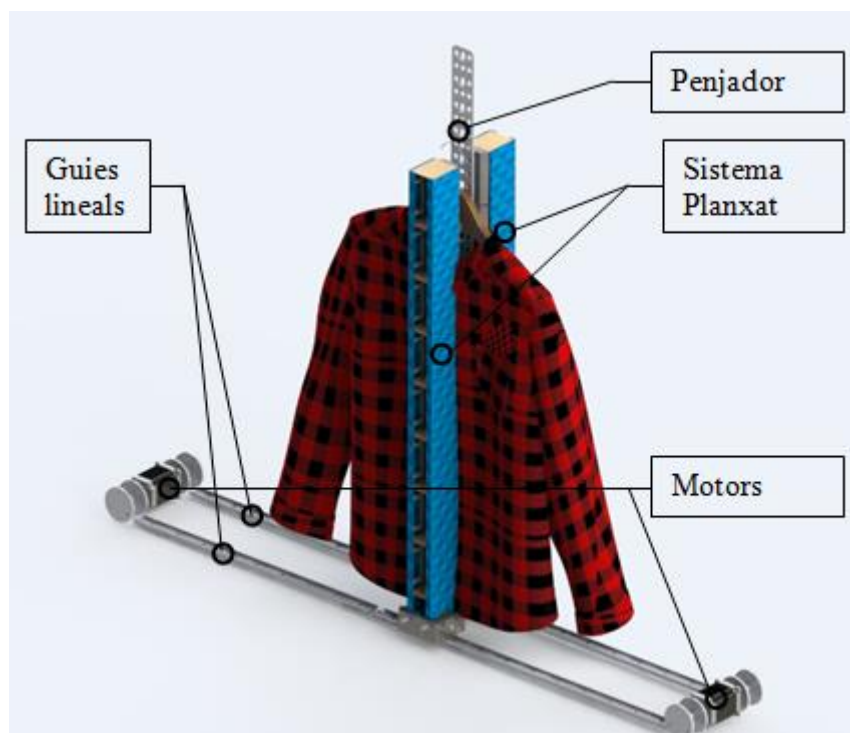


Figura 4.8.- Prototip definitiu inicis. Imatge Pròpia. 07/01/19

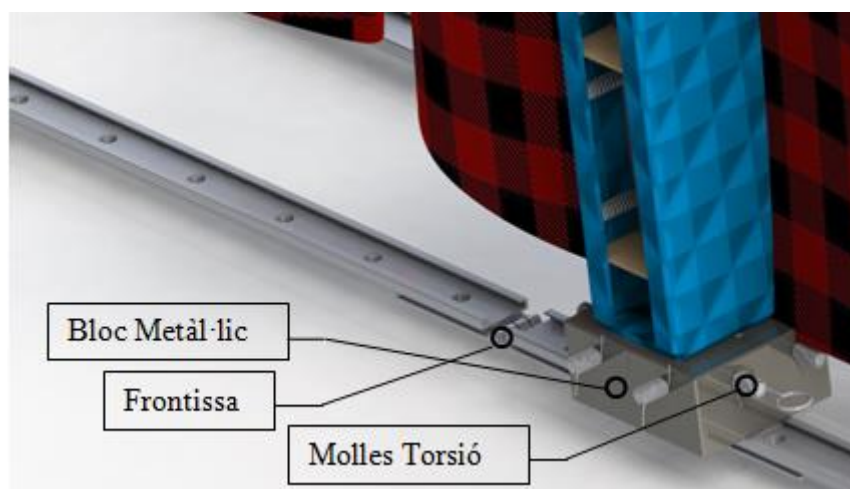


Figura 4.9.- Prototip definitiu. Sistema plegat. Imatge pròpia. 07/01/19

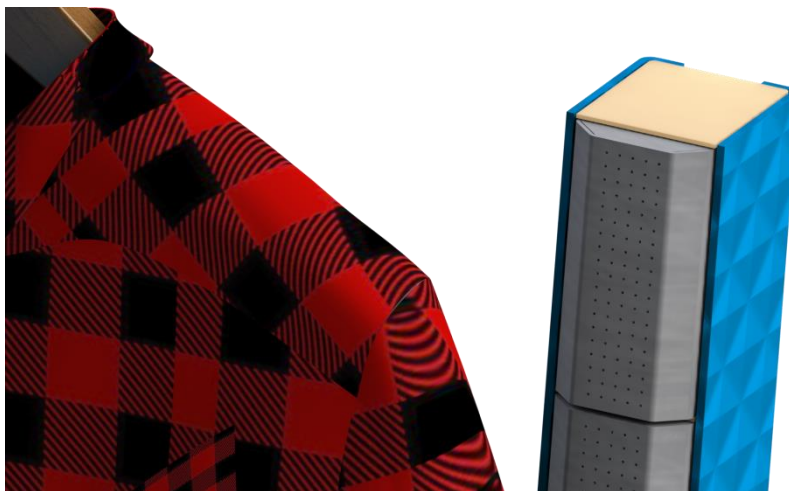


Figura 4.10.- Prototip definitiu planxes mòbils. Imatge pròpia. 07/01/19

En les imatges 4.8, 4.9 i 4.10 es pot observar el disseny inicial creat per tal de poder encabir en un aparell tots els requeriments anteriorment comentats. El funcionament és senzill i pràctic, es basa en situar la peça de roba al penjador central (Figura 4.8) i estirar cadascuna de les seves parts mitjançant l'acció d'unes pinces elàstiques. A continuació, el sistema de planxat format per dos conjunts de diverses plaques verticals (en blau) es desplacen per les guies lineals de banda a banda del teixit a partir de l'acció de dos motors, mentre van allisant les fibres gràcies a l'aportació de vapor que passa pels orificis.

Un cop finalitzat el procés de planxat i extreta la roba, les plaques verticals es situen a la posició central i gràcies a les frontisses (Figura 4.9) l'aparell pot ser plegat reduint en un alt percentatge l'espai ocupat.

Si s'observa amb atenció, a la figura 4.9 es pot advertir que el conjunt vertical (en blau) es troba recolzat sobre un bloc metàl·lic i aquest mitjançant un coixinet de fricció lineal contacta amb les guies. El bloc metàl·lic té dos funcions principals, la primera d'elles és servir de base per la col·locació de l'estructura de planxat, ja que si anés directament unida al coixinet podria crear problemes al tocar amb la guia. El segon motiu de la seva existència es basa en un problema d'inestabilitat dinàmica. Si el lector es fixa en l'estructura vertical, pot imaginar que si aquesta pateix certs moviments laterals es generaran certes vibracions degudes a la inèrcia, per resoldre aquest problema n'hi ha prou amb reduir l'alçada del centre de gravetat, és a dir, posicionar el punt on es concentra teòricament tota la massa i on els moments creats per els diferents elements de l'estructura s'anul·len, en el punt on es produeix el moviment, optimitzant així l'estabilitat cinemàtica del conjunt.

En el bloc metàl·lic, hi ha un conjunt de molles de torsió situades a les cares del bloc, aquestes molles van connectades a l'hora a l'estructura vertical absorbint així totes les petites vibracions que podrien generar-se.

El moviment de les plaques verticals es realitza a partir de l'acció de 4 cabrestants, dos per cada conjunt, el cable del qual va lligat al bloc metàl·lic a partir d'una argolla (Figura 4.9), els cabrestants són moguts a partir de dos motors de doble eix per evitar desincronitzacions i poder moure el sistema de forma paral·lela.

L'estructura vertical, està composta per un seguit de plaques perforades unides a aquesta mitjançant unes molles de compressió i recolzades per unes làmines(en beix), aquestes plaques consten d' un xamfrà a cada lateral, per tal de facilitar el desplaçament al contactar amb alguna pertorbació com ara botons o la perxa i evitar així un possible enclavament.

El penjador és una làmina amb diferents ganxos per poder col·locar la roba depenent de l'alçada d'aquesta i perforada per tal que no generi problemes al pas de vapor.

Tot i que el sistema resol gran quantitat d'inconvenients observats en els anteriors dissenys, encara conté certs problemes que s'han de resoldre en diferents versions del mateix prototip.

D'una banda, la zona on es troben les frontisses deixa un espai entre guies que pot causar inestabilitats al pas del coixinet.

Les làmines fixes(en beix) que separen el sistema de plaques que permet el planxat del teixit pot suposar un obstacle si contacta amb la perxa o els botons.

D'altra banda, el sistema de molles pot crear un soroll incòmode per l'usuari. A més el plegat no és automàtic, requereix l'esforç per part del consumidor i aspectes com la condensació del vapor a la roba que pot arribar a mullar la part inferior de l'aparell requereixen una solució.

Aquest conjunt d'obstacles no eren determinants per canviar de disseny i tan sols era necessari realitzar certes modificacions per tal de resoldre'ls eficaçment, és per això que aquest ha estat el prototip definitiu a partir del qual s'ha generat la màquina del present projecte que es comentarà en el proper apartat.

4.2.- Funcionament i elements principals de la màquina

En el present apartat s'explicarà detalladament com funciona la màquina, especificant les característiques principals i es justificaran cadascun dels elements.

Per tal que el lector pugui comprendre de forma senzilla el comportament de l'aparell s'ha optat per anar il·lustrant mitjançant l'ús de renderitzats els diferents passos a seguir.

Inicialment, l'aparell es troba en l'estat de mínim volum, és a dir, està totalment plegat. En aquest instant les dimensions de la màquina són 1170x260x85 mm, per fer-se una idea intuïtiva és bàsicament un metre d'alçada, un pam d'amplada i mig pam de profunditat aproximadament. Aquestes dimensions permeten un emmagatzematge eficaç de l'aparell a diferència de les actuals màquines existents al mercat.



Figura 4.11.- Màquina totalment plegada.- Imatge pròpia. 02/02/19

A continuació, es procedeix a l'obertura de l'aparell, per fer-ho es recorre a l'ús d'un mecanisme articulat de barres. Es podria pensar, que la forma més eficaç seria utilitzar un motor a la zona de les frontisses que permetés desplegar la màquina, però com es veurà a l'apartat de càlculs, el mecanisme articulat permet reduir enormement la força requerida per realitzar tal procés.

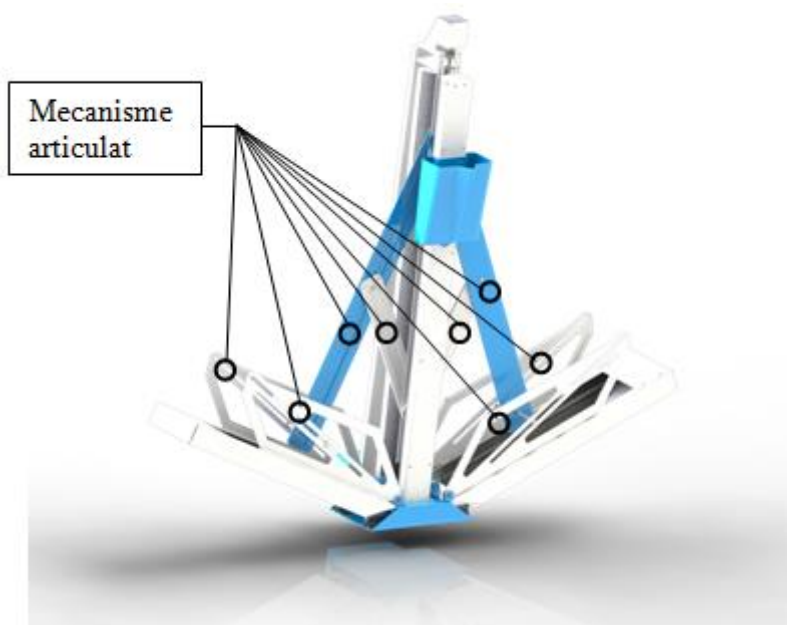


Figura 4.12.- Obertura de la màquina. Imatge Pròpia. 02/02/19

Aquest mecanisme és accionat gràcies a un motor de corrent contínua connectat a un vis sens fi convertint així el moviment rotacional en moviment lineal, per posteriorment mitjançant l'ús de les barres realitzar l'obertura de l'aparell. Aquest vis sens fi està recolzat per un contrapunt en el seu extrem inferior per tal de reduir possibles desajustos sense pràcticament generar fricció.

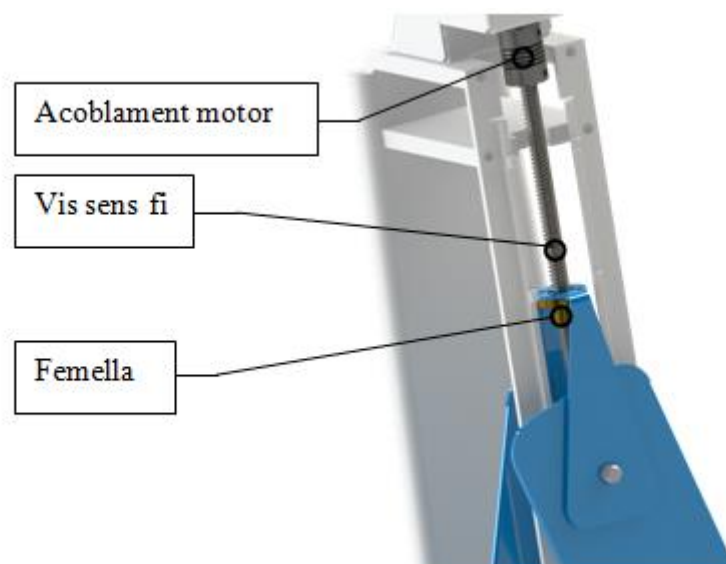


Figura 4.13.- Accionament mecanisme obertura mitjançant vis sense fi. Imatge pròpia. 02/02/19

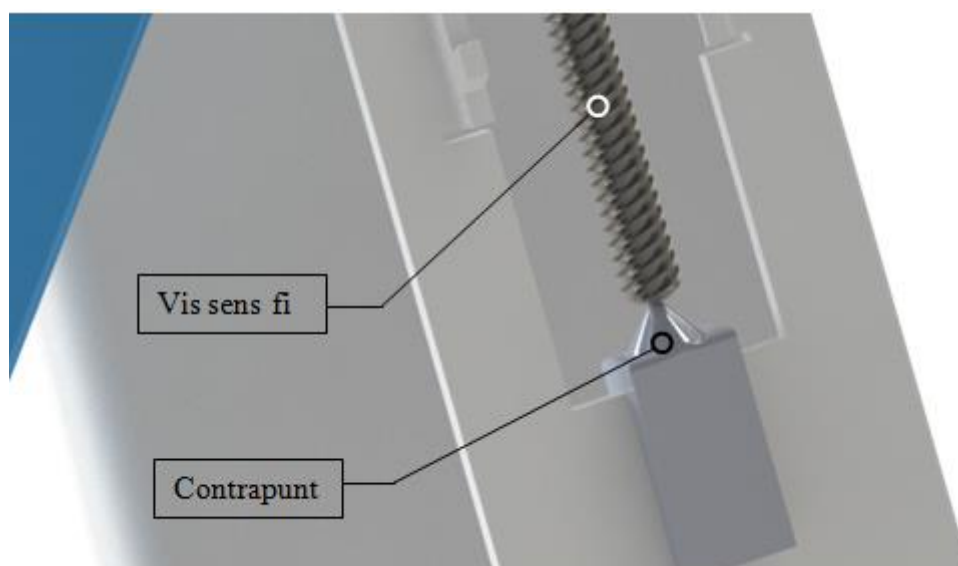


Figura 4.14.- Contrapunt del vis sense fi. Imatge pròpia. 02/02/19

Un cop l'obertura ha finalitzat, la màquina es troba totalment desplegada i en aquest estat les dimensions de l'aparell són 1170x1400x85mm, és a dir, al desplegar-se augmenta l'amplada en un factor d'aproximadament 5. Per tant, com es pot notar, quan la màquina queda totalment plegada permet reduir el volum fins a una cinquena part de l'estat desplegat, mostrant així l'eficàcia del plegat.

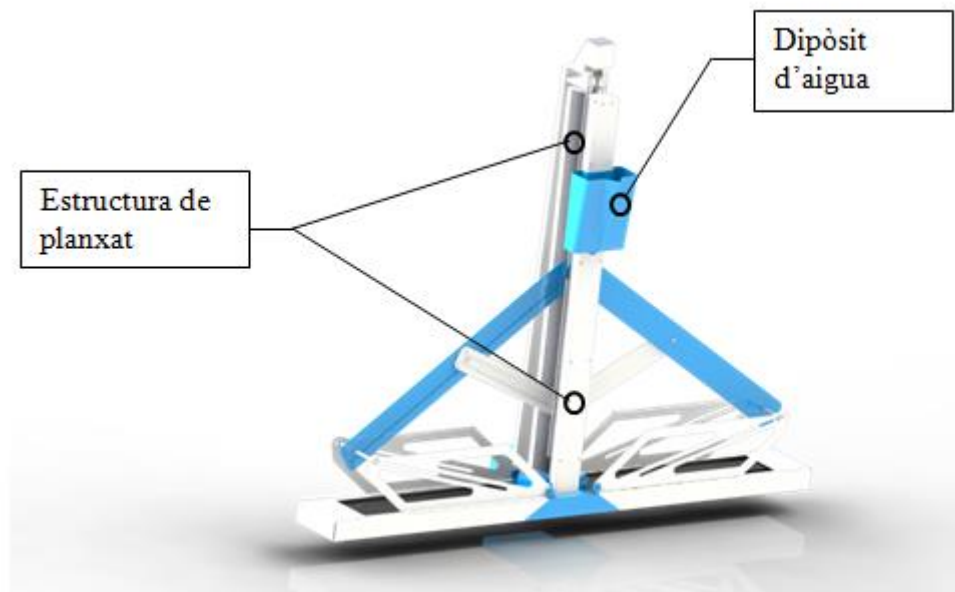


Figura 4.15.- Aparell totalment desplegat. Imatge pròpia. 02/02/19

Seguidament, les estructures de planxar paral·leles amb el dipòsit d'aigua es desplacen fins un dels extrems per deixar pas a la col·locació de la vestimenta per part de l'usuari. La força responsable d'executar aquests desplaçaments és deguda a una corretja que va connectada a la base mòbil de l'estructura mitjançant unes plaques cargolades i que és accionada mitjançant un motor i tensada per una politja gràcies a l'ajust d'un trau colís. Les estructures es recolzen a partir d'uns rodaments lineals partits que contacten amb una guia cilíndrica com s'observa a les següents imatges.

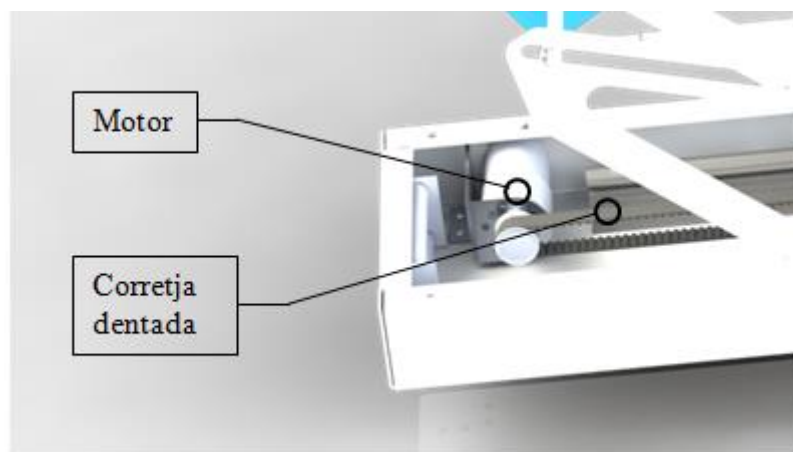


Figura 4.16.- Moviment estructures de planxat amb motor i corretja. Imatge pròpia.02/02/19

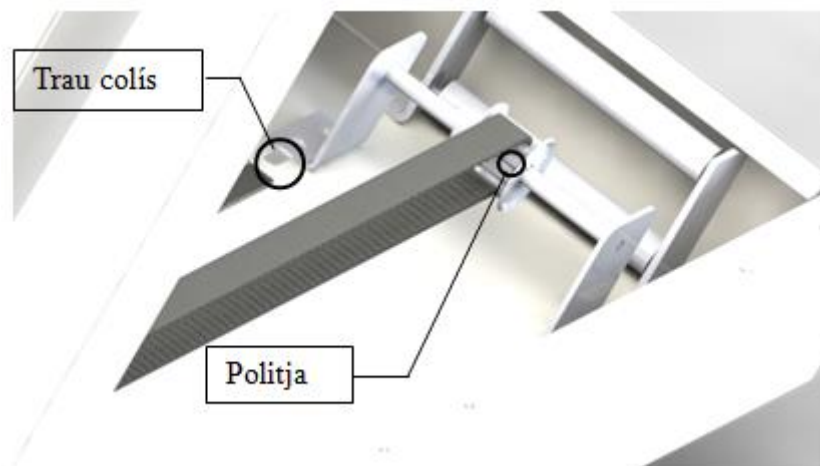


Figura 4.17.- Politja per tensar corretja. Imatge pròpia. 02/02/19

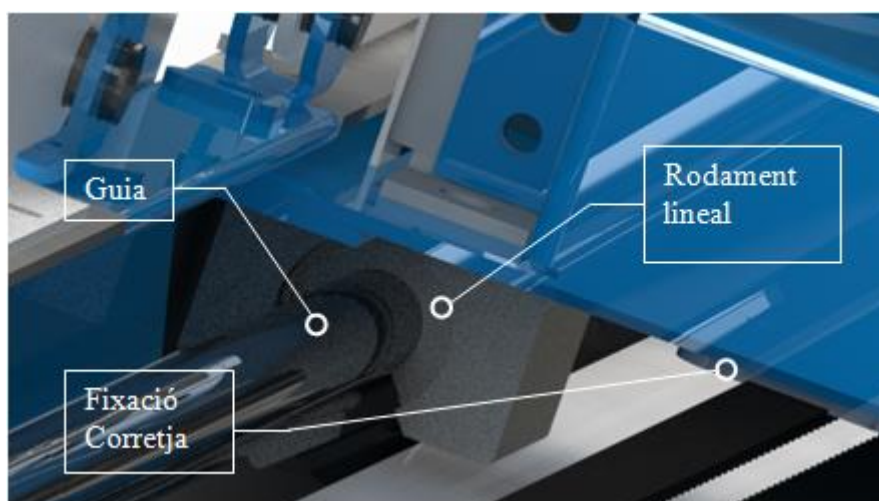


Figura 4.18.- Rodament Lineal, guia i fixació corretja. Imatge pròpia.02/02/19



Figura 4.19.- Col·locació vestimenta. Imatge pròpia.02/02/19

Arribats a aquest punt, comença el procés de planxat. El primer pas és impulsar l'aigua del dipòsit fins al generador de vapor mitjançant una bomba de diafragma. Aquesta es troba situada a una alçada superior que el dipòsit per tal que l'aigua no flueixi per pressió directament ometent la bomba. Tot i així, com s'ha especificat en l'apartat 3.3.5 i més específicament a la figura 3.7, les bombes de desplaçament positiu habitualment funcionen com a vàlvules quan no reben corrent elèctrica, no obstant, per tal de no malmetre el dispositiu i que hagi d'estar sotmès a pressió constant s'ha optat per col·locar-lo en aquesta posició. La bomba abasteix tot el sistema de planxat d'un caudal constant que s'especificarà a la part de càlculs.

A continuació, l'aigua arriba al generador de vapor, per tal de dissenyar aquest dispositiu s'han utilitzat d'inspiració els bescanviadors de calor de pas simple. És du a terme mitjançant un tub de coure de llargada considerable i de forma coaxial es situa una resistència elèctrica de forn que mitjançant l'efecte Joule converteix energia elèctrica en calor. Per evitar que el vapor flueixi en direcció contrària a la desitjada, es situa una vàlvula antiretorn, d'aquesta forma només es pot avançar en un sentit. Seguidament aquest vapor es distribueix en un seguit de canonades que s'endinsen per les estructures verticals i que deixen pas a una embocadura en forma de tovera que permet que el vapor surti a altes velocitats permetent així una alta penetració al teixit.

El contacte amb la vestimenta es duu a terme a partir d'una malla de filtratge d'acer inoxidable, s'ha optat per utilitzar aquest recurs per diferents motius. D'una banda, l'acer inoxidable és un dels materials que com es va mostrar a l'apartat 3.3.5 ofereix altes propietats quan entra en contacte amb la roba, ja que té un coeficient de fricció menor a altres metalls i té una alta conductivitat tèrmica. D'altra banda el fet, que no sigui una làmina llisa accepta certes deformacions al pas de botons o certes protuberàncies i al tractar-se d'un element de filtratge, els orificis que conté són reduïts i per tant permeten accelerar el vapor millorant així l'eficàcia del planxat.

Aquest conjunt de passos es duen a terme mentre les estructures verticals es mouen d'un extrem a l'altre de l'aparell gràcies al moviment de la corretja, com s'ha observat a les Figures 4.15 i 4.16.



Figura 4.20.- Sistema dinàmic d'aigua. Imatge pròpia. 02/02/19

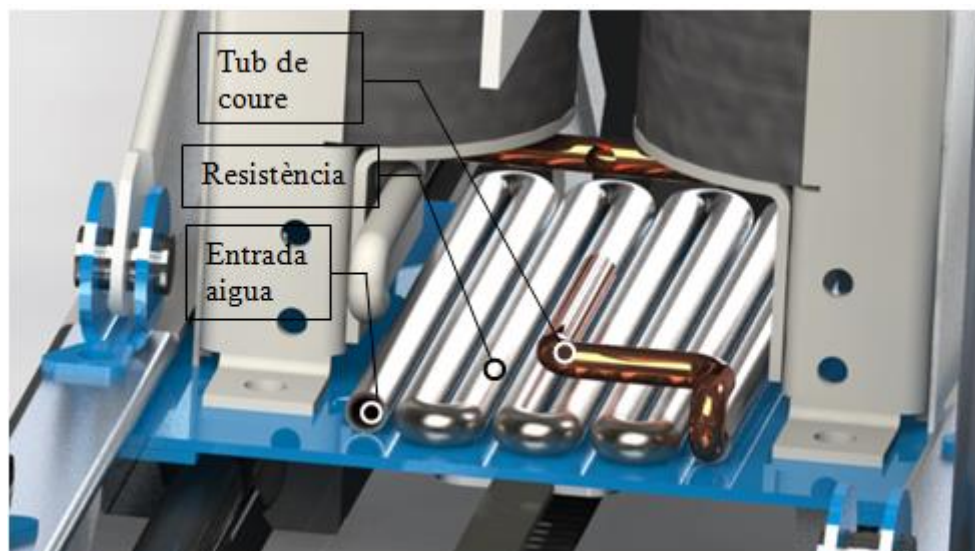


Figura 4.21.- Generador de vapor. Imatge Pròpia.02/02/19

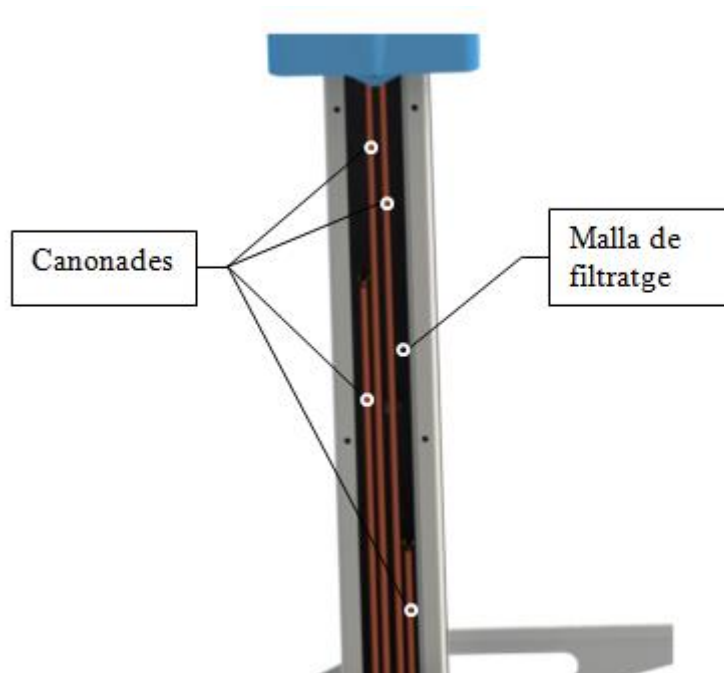


Figura 4.22.- Canonades circulació vapor i malla. Imatge Pròpia. 02/02/19

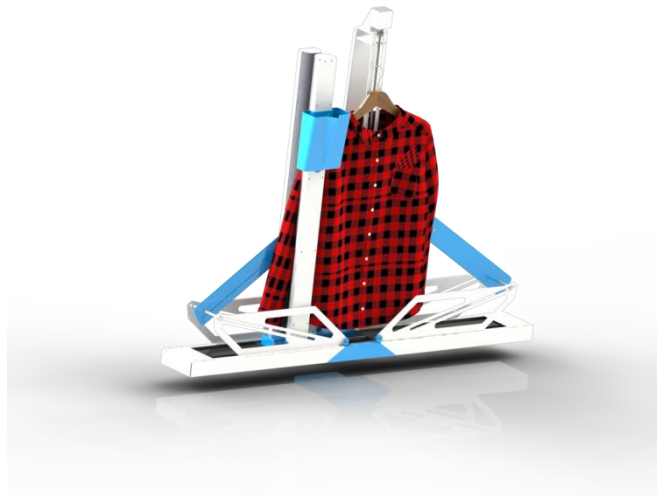


Figura 4.23.- Pas de l'estructura de planxat per la vestimenta. Imatge pròpia. 02/02/19

Un cop finalitzat el procés de planxat, l'usuari extreu la peça de roba i seguidament pot decidir situar una nova vestimenta o bé emmagatzemar l'aparell. Si es dona el segon cas, l'estructura vertical que conté el sistema de planxat es situa a la posició central i el mecanisme de vis sense fi es acciona pel motor per tal de plegar l'aparell fins a la següent utilització.

El funcionament bàsic de l'aparell és el mostrat en aquest seguit de pàgines, no obstant, hi ha aspectes de la màquina que es considera rellevant comentar, ja que permeten resoldre certs inconvenients observats a la primera versió de l'aparell. Un dels aspectes que s'ha tingut en compte per tal d'evitar futurs problemes, és la condensació del vapor en aigua líquida que podria danyar els sistemes elèctrics o augmentar la fragilitat de certs components a causa de la humitat per hidratació o bé certa oxidació d'alguns elements de l'aparell, aquest fet no hauria d'ocórrer habitualment, però com a enginyers és necessari preveure possibles desgràcies per tal d'anticipar-se.

Per resoldre aquest obstacle, s'ha optat per situar una banda de PVC (Policlorur de Vinil) flexible que bloqueja el pas de fluid a les zones inferiors de la màquina on es troben els principals sensors, guies, rodaments i motors. Aquest plàstic és altament utilitzat a la indústria hidràulica en forma de canonades, el que permet avalar el seu funcionament. La banda es mou conjuntament amb la base de les estructures verticals de planxat fins als extrems recolzada per un parell de corrons lliscants a cada costat.

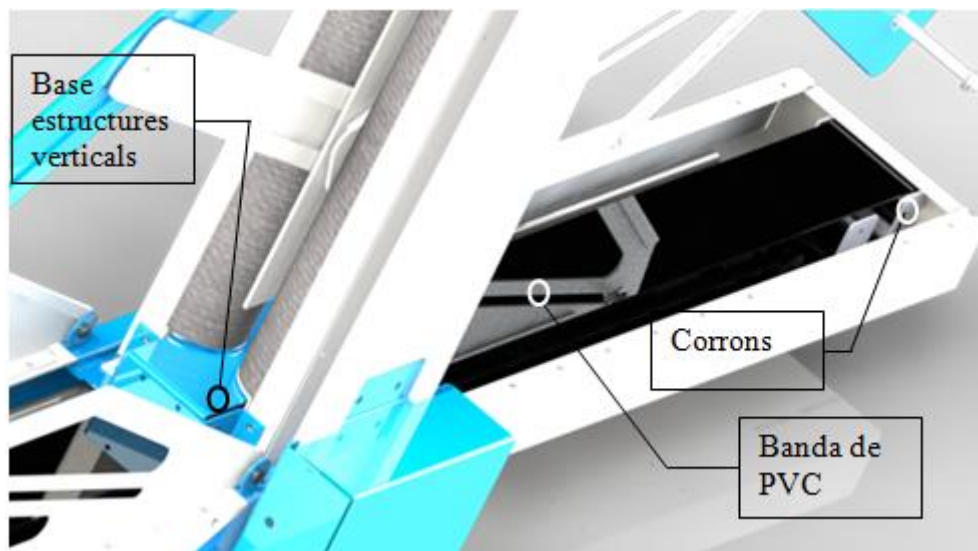


Figura 4.24.- Banda flexible de PVC .Imatge pròpia.02/02/19

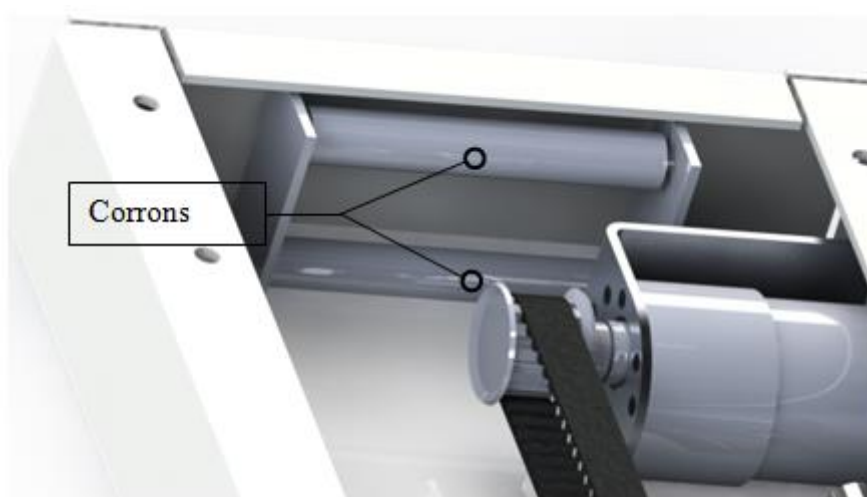


Figura 4.25.- Corrons Banda PVC. Imatge pròpia.02/02/19

El muntatge de tot l'aparell s'ha dissenyat per anar cargolat, ja que d'aquesta forma s'evita la necessitat d'utilitzar elements d'unió fixes com ara la soldadura que requeriria de la necessitat d'un operari amb aquesta habilitat i dificulta el manteniment de l'aparell si existeix qualsevol avaria.

Tots els elements com ara motors, font d'alimentació, generador de vapor i sistema de planxat ha estat cobert mitjançant tapes per aportar seguretat al usuari i prevenir riscos. A la següent imatge es mostren algunes de les tapes de protecció de la màquina.

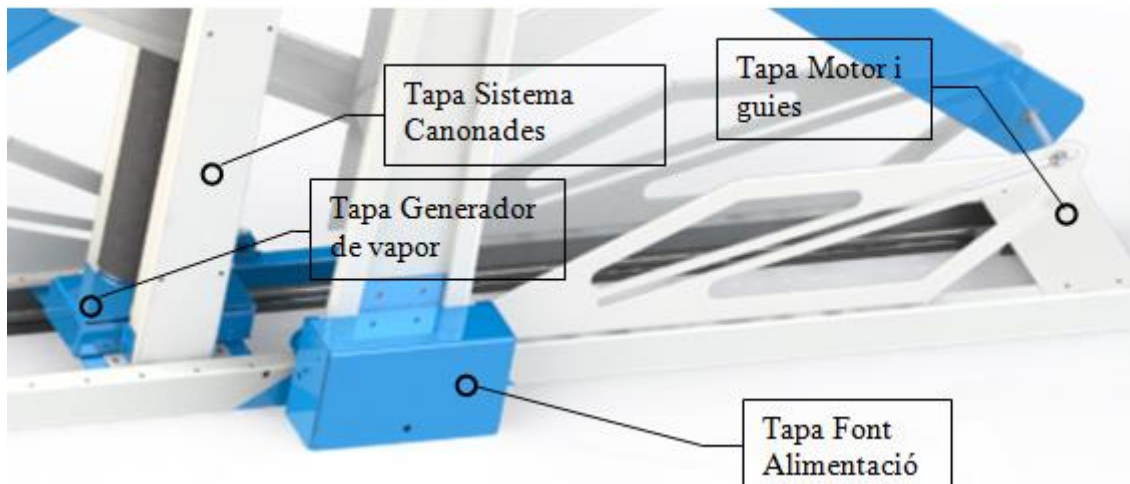


Figura 4.26.- Tapes de protecció. Imatge pròpia.02/02/19

4.3.- Càlculs dels elements

Un cop analitzat el funcionament de la màquina i especificat els elements principals és necessari aportar viabilitat al projecte mitjançant comprovacions físiques a partir d'equacions matemàtiques. En l'apartat que segueix es mostraran els càlculs realitzats per a cadascuna de les principals peces de l'aparell explicant de forma teòrica les equacions que s'utilitzen per a cada element. Es realitzaran els càlculs de forma justificada i es finalitzarà cada element a partir d'una simulació computacional per tal de corroborar la viabilitat de la part analitzada.

En aquest apartat s'estudiarà la dinàmica i cinemàtica, és a dir, moviment dels conjunts (selecció de motors, inestabilitats i mecanismes), estudis sobre la resistència de materials i anàlisis tèrmics i fluídics. Els càlculs referents al sistema elèctric i electrònic es mostrarà a l'apartat 4.5.

4.3.1.- Mecanisme d'obertura de l'aparell

S'inicia l'apartat de càlculs a partir de l'anàlisi del mecanisme d'obertura i tancament de la màquina, mecanisme mitjançant el qual es permet plegar la màquina.

Primerament, s'avaluarà el comportament cinemàtic i dinàmic del conjunt, és a dir, el càlcul de velocitats, acceleracions i forces que serà d'utilitat per seleccionar el motor utilitzat.

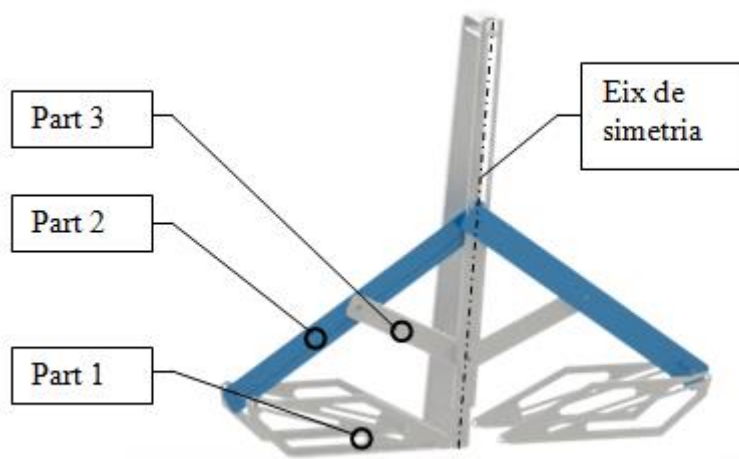


Figura 4.27.- Mecanisme obertura. Imatge pròpia.02/02/19

Com es pot veure a la figura 4.27 el mecanisme té un eix de simetria que permet simplificar l'anàlisi reduint l'estudi a una de les dues parts. Un cop s'hagi realitzat l'estudi, per tal de seleccionar el motor serà necessari afegir la part restant que serà exactament igual que l'analitzada.

També es pot observar que es tracta d'un mecanisme que treballa en un mateix pla, per tant pot ser avaluat en dues dimensions simplificant en gran manera els càlculs a realitzar.

Per poder iniciar amb el càlcul d'equacions és necessari especificar un seguit de paràmetres, com ara, a quina velocitat es mourà o bé on es situen els centres de gravetat de les peces i els moments d'inèrcia d'aquestes.

La velocitat a priori és desconeguda, però cal que es fixi un valor per poder iniciar l'estudi. El que sí que es coneix és el desig de moure la part 1 (Figura 4.27) 90° durant un espai de temps, per tant cal fixar en quants segons es desitja moure el component. En aquest cas s'ha optat per 10 segons, d'aquesta manera es pretén que no es generin grans acceleracions que puguin suposar un problema ni tampoc és una quantitat elevada de temps que pugui afectar a l'usuari.

Un cop determinat l'angle que cal moure i l'espai temporal que es requereix per dur a terme la cinemàtica, es pot calcular fàcilment la velocitat angular constant de la part 1.

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad \text{Equació 4.1}$$

Per tal de poder calcular l'equació 4.1 prèviament cal utilitzar un factor de conversió per tal de tenir el desplaçament angular en radians, ja que actualment es troba en graus.

$$90^\circ \cdot \frac{2\pi[\text{rad}]}{360^\circ} = \frac{\pi}{2}[\text{rad}] \quad \text{Equació 4.2}$$

A continuació, ja es pot calcular la velocitat inicial del mecanisme.

$$\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{\frac{\pi}{2}}{10} = \frac{\pi}{20} = 0,157 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Equació 4.3

Per tal que el lector pugui fer-se una idea de quina velocitat és aquest valor, es decideix realitzar un nou factor de conversió per tenir-ho en unitats de voltes o revolucions per minut.

$$0,157 \left[\frac{rad}{s} \right] \cdot \frac{1[rev]}{2\pi [rad]} \cdot \frac{60[s]}{1[min]} = 1,50[rpm]$$

Equació 4.4

S'ha de tenir en compte però que es tracta únicament d'una velocitat inicial com a referència, però que variarà degut a l'acceleració que tingui la part 1

Un altre aspecte a tenir en consideració és l'acceleració, degut a que es tracta de seleccionar un motor de corrent contínua és interessant fixar que funcioni a una velocitat constant, és a dir, que l'acceleració del motor sigui nul·la per tal d'evitar possibles desajustos i problemes en el motor i el vis sens fi.

Els valors de centres de gravetat es poden extreure del software CAD utilitzat, en aquest cas SolidWorks®.

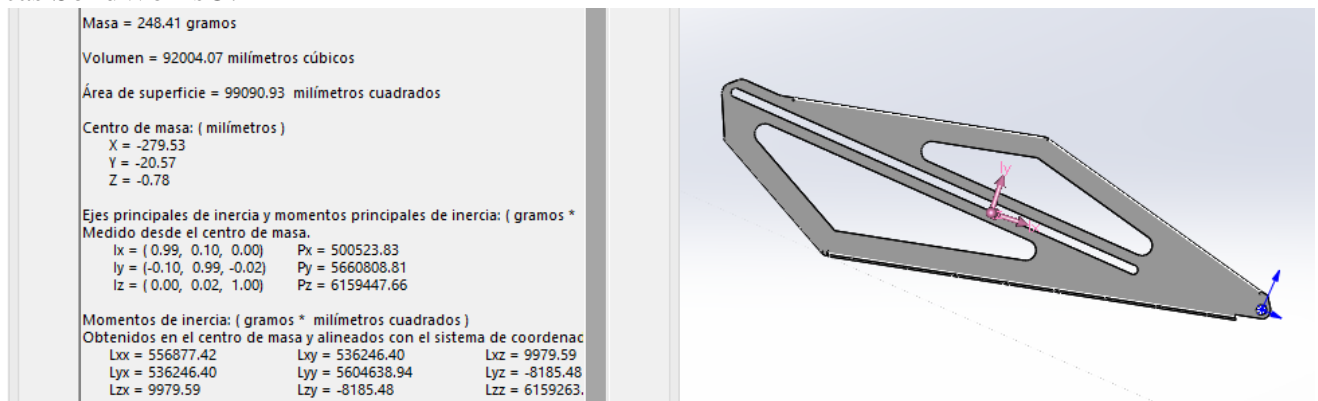


Figura 4.28.- Dades Part 1 Mecanisme Obertura. Imatge pròpia. 02/02/19

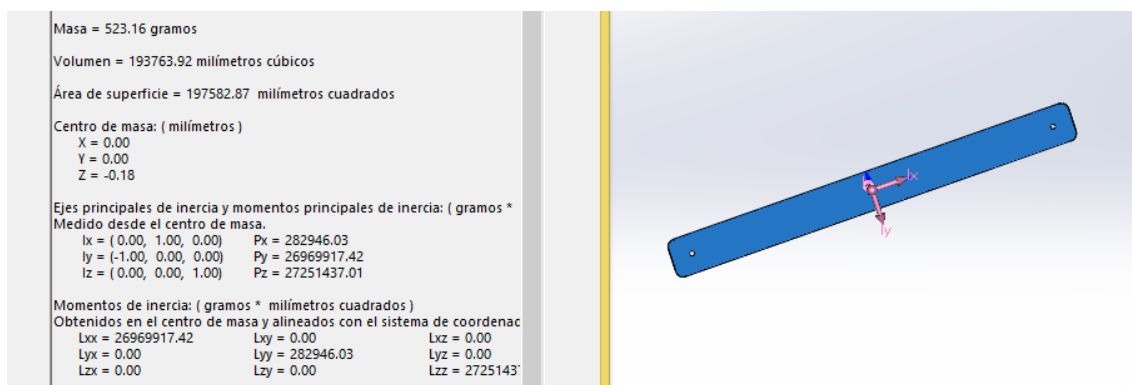


Figura 4.29.- Dades Part 2 Mecanisme Obertura. Imatge pròpia. 02/02/19

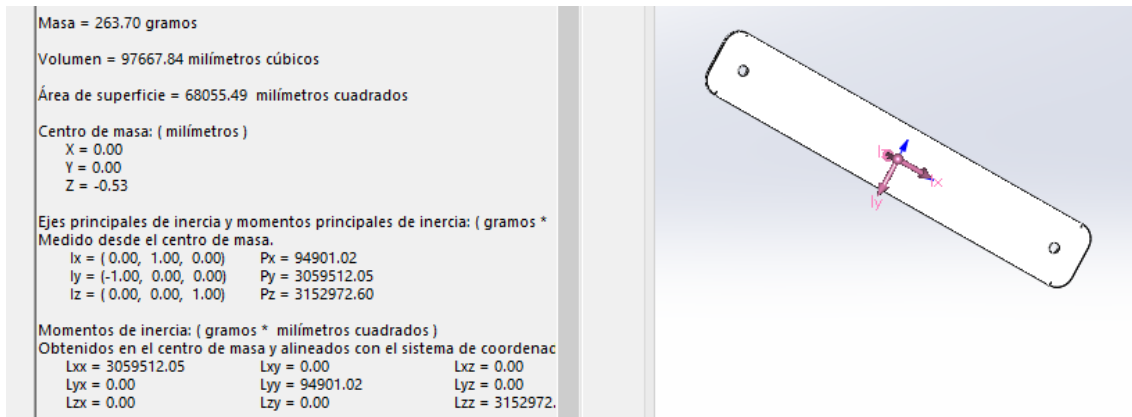


Figura 4.30.- Dades part 3 Mecanisme Obertura. Imatge Pròpia. 02/02/19

Simplificant el problema a resoldre, es pot observar que es tracta d'un sistema amb dues guies (si es considera que el vis sens fi pot actuar com a guia vertical inicialment) i tres barres. El següent esquema exemplifica la simplificació realitzada, facilitant en gran mesura els càlculs utilitzats.

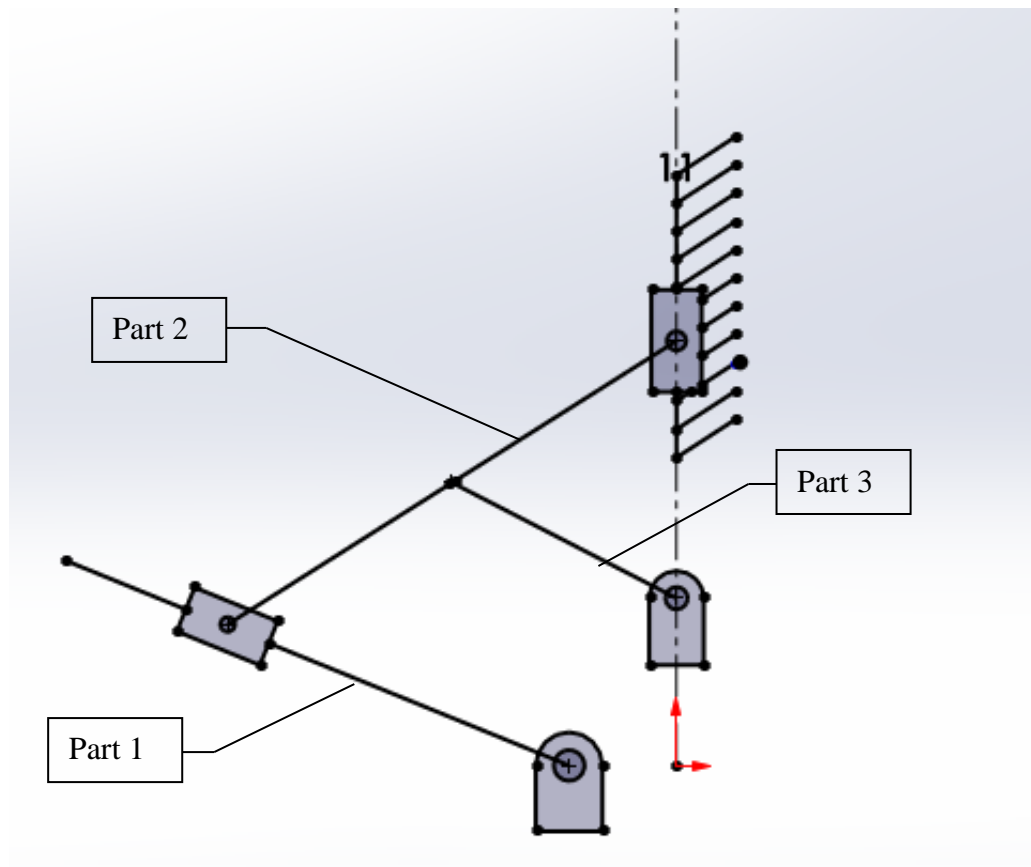


Figura 4.31.- Esquema de l'anàlisi del mecanisme. Imatge pròpia. 02/02/19

El que es desitja conèixer bàsicament és la velocitat del vis sens fi que es troba connectat a la part 2 per tal de poder seleccionar la velocitat del motor. Un cop es tenen totes les dades necessàries i l'esquema simplificat es pot procedir amb el càlcul cinemàtic del conjunt. En la següent figura es mostren les dades relatives a les longituds i a la designació de cada element mitjançant lletres.

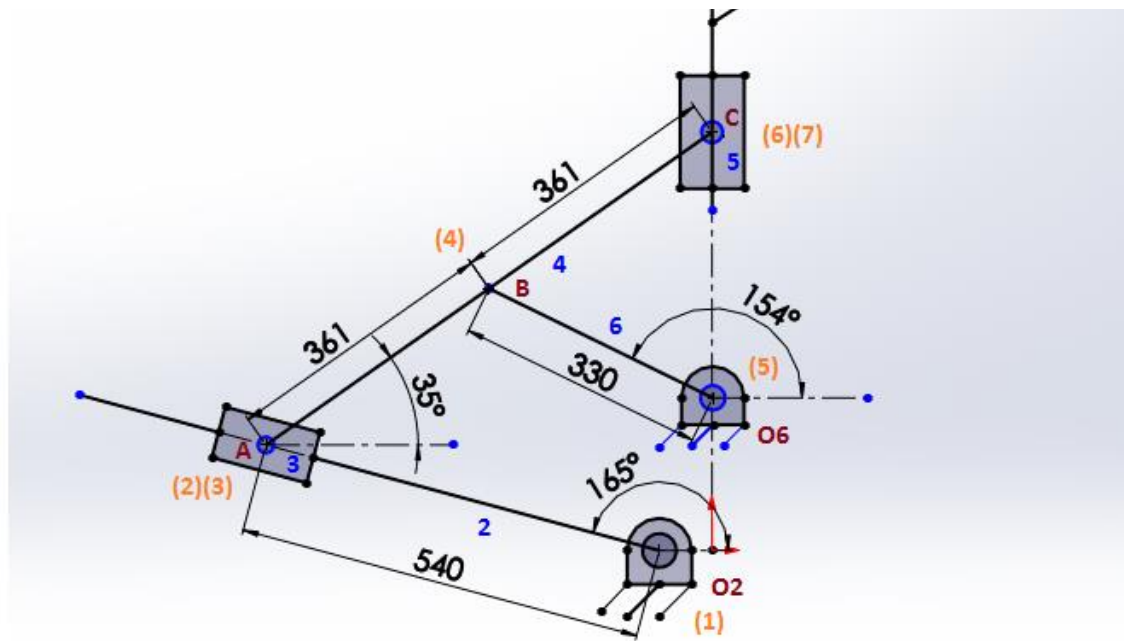


Figura 4.32.- Esquema Mecanisme. Imatge pròpia.05/02/19

A la imatge anterior es pot observar en color vermell els punts de contacte entre barres senyalitzats com (O2, A, B, C i O6), en blau el número de cada barra (2, 3, 4, 5, 6) s'ha de tenir en compte que la barra número 1 és la bancada i que les guies constitueixen una barra en si mateixes. En taronja s'assenyalen els parells cinemàtics inferiors, és a dir, les connexions entre barres, en el cas de guies hi ha sempre dos parells, un d'ells és pel lliscament sobre la barra i l'altre per la unió de la guia a l'altre barra pel punt d'unió.

Els càlculs s'inicien resolent la llei de Grashof²¹, que permet calcular el número de graus de llibertat té un mecanisme, això permet esbrinar si aplicant una velocitat és suficient per poder moure tot el conjunt de forma sincronitzada o si per el contrari ja es troba bloquejat o requereix de més d'un moviment.

La llei de Grashof il·lustra com cada barra conté tres graus de llibertat (dues translacions en l'eix x i y i una rotació respecte l'eix z), i que cada parell cinemàtic inferior pot restringir dos graus de llibertat, per exemple, una unió articulada entre barres, permet el gir però limita les translacions i un parell cinemàtic superior únicament bloqueja un grau de llibertat, com ara el contacte entre un corró i una superfície plana, que tant sols limita la translació en un eix, és degut a aquestes hipòtesis que es genera la següent equació.

$$N^{\circ} GL = 3(n - 1) - 2 \cdot i - s$$

Equació 4.5

En les barres hi ha una unitat que es resta, aquesta és perquè es considera la bancada com una barra però aquesta no té cap grau de llibertat.

En el cas present el número de graus de llibertat és 1, i per tant fixant una velocitat (en aquest cas la velocitat del vis sens fi), ja es permet moure el mecanisme de forma sincronitzada.

$$N^{\circ} GL = 3(6 - 1) - 2 \cdot 7 - 0 = 15 - 14 = 1 GL$$

Equació 4.6

A continuació, és moment de calcular la cinemàtica del conjunt. S'iniciarà a partir del càlcul de velocitats, posteriorment es realitzarà el càlcul de les acceleracions per finalitzar amb la dinàmica del sistema i esbrinar el parell motor necessari.

4.3.1.1.- Cinemàtica-Velocitat

Degut a que únicament es coneix la velocitat de rotació inicial de la barra 2 (Figura 4.32), es tractarà de calcular la velocitat de la guia A respecte la barra 3. Els càlculs es recolzen en la metodologia utilitzada al llibre "Teoria de mecanismes" d'Amelia Nápoles basat en velocitats relatives.

$$\vec{V}_{A3} = \vec{V}_{A2} + \vec{V}_{32} \quad \text{Equació 4.7}$$

Per entendre l'equació s'ha de llegir de la següent forma. "La velocitat del punt A respecte de la barra 3 és igual a la velocitat del punt A respecte de la barra 2 més la velocitat de la barra 3 respecte de la barra 2".

$$\vec{V}_{A2} = \vec{V}_{O2} + \vec{V}_{AO2} \quad \text{Equació 4.8}$$

Com que el punt O2 és fix, l'equació queda de la següent forma.

$$\vec{V}_{A2} = \mathbf{0} + \vec{V}_{AO2} = \vec{\omega}_2 \cdot \overrightarrow{O2A} \quad \text{Equació 4.9}$$

El producte escalar es resol de la següent manera.

$$\vec{V}_{A2} = \mathbf{0} + \vec{V}_{AO2} = \vec{\omega}_2 \cdot |\overrightarrow{O2A}| \cdot (\cos(\theta_2)\mathbf{j} - \sin(\theta_2)\mathbf{i}) \quad \text{Equació 4.10}$$

D'altra banda, la velocitat de la barra 3 respecte de la barra 2 és una velocitat relativa i per tant es resol com segueix.

$$\vec{V}_{32} = |V_{32}| \cdot (\cos(\theta_{rel,2})\mathbf{i} + \sin(\theta_{rel,2})\mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.11}$$

L'angle relatiu, es refereix a l'angle que forma la barra 3 respecte de la barra dos, que en aquest cas, de forma visual, és anar des de la horitzontal en sentit antihorari fins tocar amb la barra 2 després d'haver passat els 180°, és a dir, 345°.

Per tant, la velocitat del punt A respecte de la barra 3 és la següent:

$$\vec{V}_{A3} = \vec{\omega}_2 \cdot |\overrightarrow{O2A}| \cdot (\cos(\theta_2)\mathbf{j} - \sin(\theta_2)\mathbf{i}) + |V_{32}| \cdot (\cos(\theta_{rel,2})\mathbf{i} + \sin(\theta_{rel,2})\mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.12}$$

Substituint valors:

$$\vec{V}_{A3} = -0,16 \cdot 0,54 \cdot (\cos(165)\mathbf{j} - \sin(165)\mathbf{i}) + |V_{32}| \cdot (\cos(345)\mathbf{i} + \sin(345)\mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.13}$$

$$\vec{V}_{A3} = 0,083\mathbf{j} + 0,022\mathbf{i} + |V_{32}| \cdot (0,97\mathbf{i} - 0,26\mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.14}$$

Resta conèixer la direcció del punt A, per fer-ho cal recórrer a una nova equació.

$$\vec{V}_{A3} = \vec{V}_B + \vec{V}_{AB} \quad \text{Equació 4.15}$$

On la velocitat del punt B es pot expressar de la següent manera:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_{O6} + \vec{V}_{BO6} \quad \text{Equació 4.16}$$

La velocitat del punt O6 és nul·la ja que es troba fix, per tant la velocitat del punt B s'expressa com segueix.

$$\vec{V}_B = \mathbf{0} + \vec{\omega}_6 \cdot \overrightarrow{OB} \quad \text{Equació 4.17}$$

$$\vec{V}_B = \vec{\omega}_6 \cdot |OB| \cdot (\cos(\theta_6)j - \sin(\theta_6)i) \quad \text{Equació 4.18}$$

Substituint valors:

$$\vec{V}_B = \vec{\omega}_6 \cdot 0,33 \cdot (\cos(154)j - \sin(154)i) \quad \text{Equació 4.19}$$

$$\vec{V}_B = -0,30\omega_6j - 0,14\omega_6i \quad \text{Equació 4.20}$$

La velocitat d'A vista des de B és la següent:

$$\vec{V}_{AB} = \vec{\omega}_4 \cdot \overrightarrow{BA} \quad \text{Equació 4.21}$$

$$\vec{V}_{AB} = \vec{\omega}_4 \cdot 0,36 \cdot ((\cos(215)j - \sin(215)i) \quad \text{Equació 4.22}$$

$$\vec{V}_{AB} = -0,30\omega_4j + 0,20\omega_4i \quad \text{Equació 4.23}$$

Per tant, la velocitat del punt A respecte de la barra 3 es pot expressar de la manera següent.

$$\vec{V}_{A3} = -0,30\omega_6j - 0,14\omega_6i - 0,30\omega_4j + 0,20\omega_4i \quad \text{Equació 4.24}$$

Igualant l'equació 4.24 i l'equació 4.14 en les direccions principals:

$$\begin{aligned} i: \\ -0,14\omega_6 + 0,20\omega_4 &= 0,022 + 0,97|V_{32}| \end{aligned} \quad \text{Equació 4.25}$$

$$\begin{aligned} j: \\ -0,30\omega_6 - 0,30\omega_4 &= 0,083 - 0,26|V_{32}| \end{aligned} \quad \text{Equació 4.26}$$

Com es pot notar, es tenen dues equacions i 3 incògnites, per tant, no es tracta d'un sistema compatible determinat, és per això que es requereix d'una nova equació que permeti relacionar com a mínim dues de les 3 variables.

Per assolir aquesta fita, cal fixar-se en la velocitat del dau lliscant del vis sens fi.

$$\vec{V}_{C5} = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} \quad \text{Equació 4.27}$$

Inicialment, pot semblar que aquesta nova equació generi dues incògnites, però cal tenir en compte que la velocitat de C respecte de la guia en l'eix horitzontal és nul·la i per tant aporta una relació entre dues variables.

$$\vec{V}_{CB} = \vec{\omega}_4 \cdot \vec{BC} \quad \text{Equació 4.28}$$

$$\vec{V}_{CB} = \vec{\omega}_4 \cdot 0,36 \cdot ((\cos(35)j - \sin(35)i) \quad \text{Equació 4.29}$$

$$\vec{V}_{CB} = +0,30\omega_4j - 0,20\omega_4i \quad \text{Equació 4.30}$$

Aleshores, igualant les equacions en l'eix "i" tenim el següent:

$$\begin{aligned} i: \\ 0 = -0,20\omega_4 - 0,14\omega_6 \end{aligned} \quad \text{Equació 4.31}$$

$$\omega_4 = -0,7\omega_6 \quad \text{Equació 4.32}$$

Substituint aquest valor a les equacions 4.25 i 4.26.

$$\begin{aligned} i: \\ -0,14\omega_6 - 0,14\omega_6 = +0,022 + 0,97|V_{32}| \end{aligned} \quad \text{Equació 4.33}$$

$$\begin{aligned} j: \\ -0,30\omega_6 + 0,21\omega_6 = +0,083 - 0,26|V_{32}| \end{aligned} \quad \text{Equació 4.34}$$

Resolent el sistema d'equacions es troba els valors de ω_6 i V_{32}

$$V_{32} = +0,13 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Equació 4.35}$$

$$\omega_6 = -0,54 \left[\frac{rad}{s} \right] k \quad \text{Equació 4.36}$$

$$\omega_4 = +0,38 \left[\frac{rad}{s} \right] k \quad \text{Equació 4.37}$$

A continuació, resta calcular el valor de la velocitat del punt C respecte la guia 5 en l'eix "j":

$$\begin{aligned} j: \\ \vec{V}_{C5} = +0,30\omega_4 - 0,30\omega_6 = 0,28 \left[\frac{m}{s} \right] j \end{aligned} \quad \text{Equació 4.38}$$

És a dir, ha de recórrer 280mm cada segon. Si el vis sens fi té un pas de 2mm, vol dir que augmenta aquesta distancia cada volta, per tal de saber les revolucions per minut del motor cal aplicar el següent factor de conversió.

$$0,28 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot \frac{1[rev]}{0,002[m]} \cdot \frac{60[s]}{1[min]} = 8400[rpm] \quad \text{Equació 4.39}$$

4.3.1.2.- Cinemàtica-Acceleració

A continuació, es pretén calcular les acceleracions del mecanisme, aquestes modificaran les velocitats dels elements i permetran determinar si la velocitat del motor calculada anteriorment pot ser útil o per contra s'haurà de suposar una velocitat menor si les acceleracions són molt elevades. L'acceleració també aporta informació sobre la força necessària requerida pel motor. Per calcular-ho, com s'ha comentat anteriorment es fixa l'acceleració del vis sens fi, ja que aquest al estar controlat pel motor, teòricament tindrà una velocitat constant.

$$\vec{a}_{c5} = \vec{a}_B + \vec{a}_{cB} \quad \text{Equació 4.40}$$

On l'acceleració del punt B es pot expressar mitjançant la següent equació:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_{O6} + \vec{a}_{BO6} \quad \text{Equació 4.41}$$

Degut a que el punt O6 és fix, no té ni velocitat ni acceleració.

$$\vec{a}_B = \mathbf{0} + \alpha_6 \cdot \overrightarrow{O6B} - \omega_6^2 \wedge \overrightarrow{O6B} \quad \text{Equació 4.42}$$

És a dir, l'acceleració del punt B, és l'acceleració tangencial expressada a partir de $\alpha_6 \cdot \overrightarrow{O6B}$ i l'acceleració normal de la barra 6 $\omega_6^2 \wedge \overrightarrow{O6B}$, desenvolupant el producte escalar i el producte vectorial queda de la següent forma.

$$\vec{a}_B = \mathbf{0} + \alpha_6 \cdot |\overrightarrow{O6B}| \cdot (\cos(\theta_6) \mathbf{j} - \sin(\theta_6) \mathbf{i}) - \omega_6^2 \cdot |\overrightarrow{O6B}| \cdot (\cos(\theta_6) \mathbf{i} + \sin(\theta_6) \mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.43}$$

Substituint valors:

$$\vec{a}_B = \mathbf{0} + \alpha_6 \cdot 0,33 \cdot (\cos(154) \mathbf{j} - \sin(154) \mathbf{i}) - (-0,54)^2 \cdot 0,33 \cdot (\cos(154) \mathbf{i} + \sin(154) \mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.44}$$

$$\vec{a}_B = -0,30\alpha_6 \mathbf{j} - 0,14\alpha_6 \mathbf{i} + 0,086 \mathbf{i} - 0,042 \mathbf{j} \quad \text{Equació 4.45}$$

L'acceleració del punt C vist des de B (\vec{a}_{cB}) es pot calcular com segueix.

$$\vec{a}_{cB} = \alpha_4 \cdot \overrightarrow{BC} - \omega_4^2 \wedge \overrightarrow{BC} \quad \text{Equació 4.46}$$

$$\vec{a}_{cB} = +\alpha_4 \cdot |\overrightarrow{BC}| \cdot (\cos(\theta_4) \mathbf{j} - \sin(\theta_4) \mathbf{i}) - \omega_4^2 \cdot |\overrightarrow{BC}| \cdot (\cos(\theta_4) \mathbf{i} + \sin(\theta_4) \mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.47}$$

Substituint l'equació pels valors corresponents:

$$\vec{a}_{cB} = \alpha_4 \cdot 0,36 \cdot (\cos(35) \mathbf{j} - \sin(35) \mathbf{i}) - (0,38)^2 \cdot 0,36 \cdot (\cos(35) \mathbf{i} + \sin(35) \mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.48}$$

$$\vec{a}_{cB} = 0,30\alpha_4 \mathbf{j} - 0,21\alpha_4 \mathbf{i} - 0,043 \mathbf{i} - 0,030 \mathbf{j} \quad \text{Equació 4.49}$$

Aleshores l'acceleració del punt C respecte de la guia pren la següent manera:

$$\vec{a}_{C5} = -0,30\alpha_6\mathbf{j} - 0,14\alpha_6\mathbf{i} + 0,086\mathbf{i} - 0,042\mathbf{j} + 0,30\alpha_4\mathbf{j} - 0,21\alpha_4\mathbf{i} - 0,043\mathbf{i} - 0,030\mathbf{j} \quad \text{Equació 4.50}$$

Separant per eixos l'equació 4.50.

$$\begin{aligned} i: \\ 0 &= -0,14\alpha_6 + 0,086 - 0,21\alpha_4 - 0,043 \end{aligned} \quad \text{Equació 4.51}$$

$$\begin{aligned} j: \\ 0 &= -0,30\alpha_6 - 0,042 + 0,30\alpha_4 - 0,030 \end{aligned} \quad \text{Equació 4.52}$$

Resolent el sistema d'equacions es troben els següents valors:

$$\alpha_6 = -0,021 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] \quad \text{Equació 4.53}$$

$$\alpha_4 = 0,22 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] \quad \text{Equació 4.54}$$

A continuació es calcula l'acceleració del dau A.

$$\vec{a}_{A3} = \vec{a}_B + \vec{a}_{AB} \quad \text{Equació 4.55}$$

L'acceleració del punt B es pot calcular fàcilment fent ús de les equacions 4.45 i 4.53

$$\begin{aligned} \vec{a}_B &= -0,30(-0,021)\mathbf{j} - 0,14(-0,021)\mathbf{i} + 0,086\mathbf{i} - 0,042\mathbf{j} \\ &= 0,090\mathbf{i} - 0,036\mathbf{j} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \end{aligned} \quad \text{Equació 4.56}$$

L'acceleració del punt A respecte el punt B es calcula com segueix:

$$\vec{a}_{AB} = \alpha_4 \cdot \vec{BA} - \omega_4^2 \vec{BA} \quad \text{Equació 4.57}$$

Calculant el producte escalar i vectorial:

$$\vec{a}_{AB} = +\alpha_4 \cdot |\vec{AB}| \cdot (\cos(\theta_4')\mathbf{j} - \sin(\theta_4')\mathbf{i}) - \omega_4^2 \cdot |\vec{AB}| \cdot (\cos(\theta_4')\mathbf{i} + \sin(\theta_4')\mathbf{j}) \quad \text{Equació 4.58}$$

Substituint valors:

$$\begin{aligned} \vec{a}_{AB} &= +0,22 \cdot 0,36 \cdot (\cos(215)\mathbf{j} - \sin(215)\mathbf{i}) - (-0,38)^2 \cdot 0,36 \\ &\quad \cdot (\cos(215)\mathbf{i} + \sin(215)\mathbf{j}) \end{aligned} \quad \text{Equació 4.59}$$

$$\vec{a}_{AB} = -0,065\mathbf{j} + 0,045\mathbf{i} + 0,043\mathbf{i} + 0,03\mathbf{j} = 0,088\mathbf{i} - 0,035\mathbf{j} \quad \text{Equació 4.60}$$

Sumant l'equació 4.56 i 4.60 trobem el valor de l'acceleració del dau A.

$$\vec{a}_{A3} = 0,178\mathbf{i} - 0,071\mathbf{j} \quad \text{Equació 4.61}$$

Finalment, resta calcular l'acceleració angular de la barra 2, per fer-ho cal recolzar-se en el resultat obtingut del dau A. L'acceleració del dau es pot expressar també com l'acceleració del punt O2 que és nul, l'acceleració del punt A respecte la barra 2, l'acceleració relativa de la barra 3 respecte de la 2 i al tractar-se d'un moviment conjunt de translació del dau i rotació de la barra 2 existeix una acceleració de Coriolis.

$$\vec{a}_{A3} = \vec{a}_{O2} + \vec{a}_{A02} + \vec{a}_{32} + \vec{a}_{Coriolis} \quad \text{Equació 4.62}$$

L'acceleració del punt A vist des de O2 es calcula mitjançant la següent equació:

$$\vec{a}_{A02} = +\alpha_4 \cdot |A02| \cdot (\cos(\theta_2)j - \sin(\theta_2)i) - \omega_2^2 \cdot |A02| \cdot (\cos(\theta_2)i + \sin(\theta_2)j) \quad \text{Equació 4.63}$$

Substituint valors:

$$\vec{a}_{A02} = \alpha_4 \cdot 0,54 \cdot (\cos(165)j - \sin(165)i) - (-0,16)^2 \cdot 0,54 \cdot (\cos(165)i + \sin(165)j) \quad \text{Equació 4.64}$$

$$\vec{a}_{A02} = -0,52\alpha_4j - 0,14\alpha_4i + 0,013i - 0,0036j \quad \text{Equació 4.65}$$

L'acceleració relativa de la barra 3 respecte de la barra 2 es pot calcular com segueix:

$$\vec{a}_{32} = |a_{32}| \cdot (\cos(\theta_{2rel})i - \sin(\theta_{2rel})j) \quad \text{Equació 4.66}$$

Amb els valors corresponents queda de la següent manera:

$$\vec{a}_{32} = |a_{32}| \cdot (\cos(345)i - \sin(345)j) \quad \text{Equació 4.67}$$

$$\vec{a}_{32} = 0,97|a_{32}|i + 0,26|a_{32}|j \quad \text{Equació 4.68}$$

Finalment, l'acceleració de Coriolis es pot calcular a partir de l'equació que es mostra a continuació.

$$\vec{a}_{Coriolis} = 2 \cdot \omega_2 \wedge V_{32} \quad \text{Equació 4.69}$$

Realitzant el producte vectorial:

$$\vec{a}_{Coriolis} = 2 \cdot (\omega_2 k \cdot V_{32}i + \omega_2 k \cdot V_{32}j) \quad \text{Equació 4.70}$$

Substituint valors:

$$\vec{a}_{Coriolis} = 2 \cdot (-0,16k \cdot 0,13i - 0,16k \cdot (-0,034)j) \quad \text{Equació 4.71}$$

$$\vec{a}_{Coriolis} = -0,042j - 0,011i \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Equació 4.72}$$

S'ha de tenir en compte que al realitzar el producte vectorial entre "k" i "i" el resultat és "j" i el producte vectorial entre "k" i "j" es "-i".

Finalment agrupant tots els termes i separant les equacions en els eixos principals s'obté el següent sistema lineal.

$$\begin{aligned} i: \\ 0,178 &= -0,14\alpha_4 + 0,013 + 0,97|a_{32}| - 0,011 \end{aligned} \quad \text{Equació 4.73}$$

$$\begin{aligned} j: \\ -0,071 &= -0,52\alpha_4 - 0,0036 + 0,26|a_{32}| - 0,042 \end{aligned} \quad \text{Equació 4.74}$$

Resolent el sistema d'equacions:

$$\alpha_2 = -0,15 \left[\frac{rad}{s^2} \right] \quad \text{Equació 4.75}$$

$$|a_{32}| = 0,20 \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Equació 4.76}$$

4.3.1.3.- Cinemàtica-Simulació

Per donar fiabilitat als càlculs, s'ha optat per simular el mecanisme en SolidWorks®, per així observar primer si els resultats eren correctes i a continuació per determinar el comportament del mecanisme. Ja que s'ha de tenir en compte que els valors obtinguts representen l'instant inicial, però les velocitats i acceleracions van evolucionant durant el temps. Per fer-ho s'ha creat un anàlisi de moviment a partir d'un croquis generat.

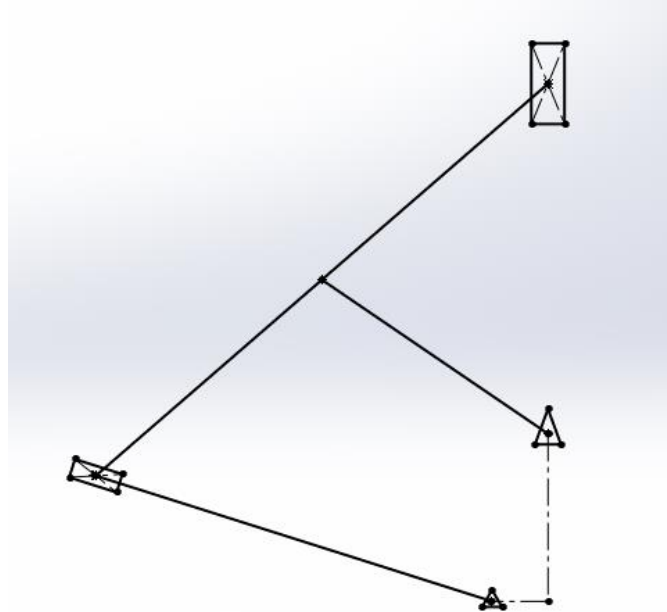


Figura 4.33.- Anàlisi de moviment simulat per SolidWorks®. Imatge pròpia. 06/03/19

A continuació, s'ha aplicat al dau superior una velocitat en j de 280mm/s tal i com s'ha calculat i s'han comprovat els resultats obtinguts.

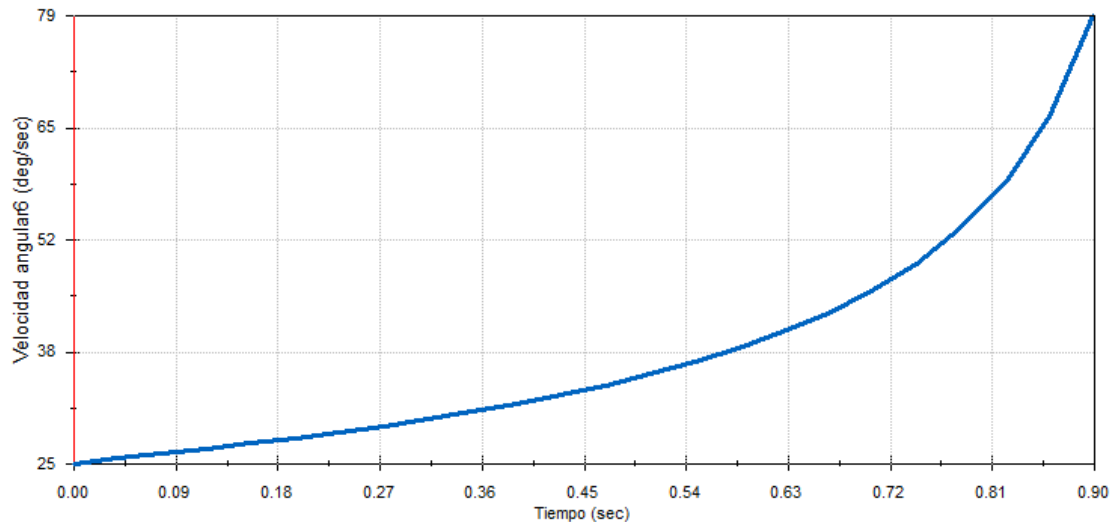


Figura 4.34.- Gràfic velocitat angular-temps per la barra 4. Imatge pròpia.06/03/19

El gràfic anterior correspon a la velocitat ω_4 , però està expressada en graus per segon, per canviar-ho a radians per segon cal multiplicar per 2π radians i dividir per 360° . Si es realitza aquesta operació per l'instant inicial, el valor és de 0,4 rad/s, un valor molt pròxim al calculat que era de 0,38 rad/s.

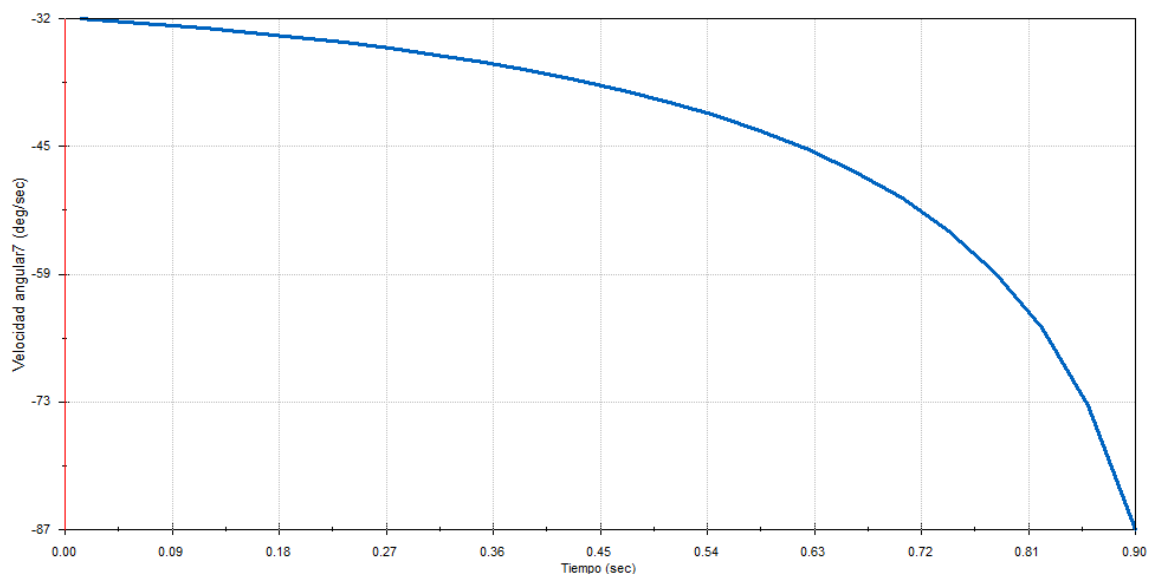


Figura 4.35.- Gràfic velocitat angular-temps per la barra 6. Imatge pròpia. 06/03/19

En aquest cas, el gràfic representa la velocitat ω_6 que té un valor teòric de -0,54 rad/s. La simulació a l'instant inicial mostra una velocitat de -32°/s que passat a radians és de -0,56 rad/s per tant es pot donar per vàlid.

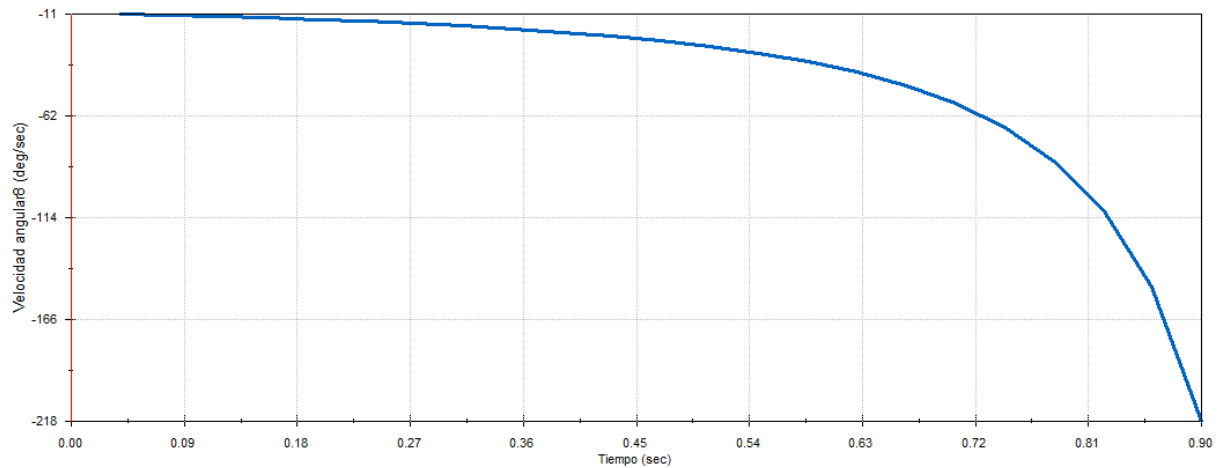


Figura 4.36.- Gràfic velocitat angular-temps per la barra 2. Imatge pròpia. 06/03/19

El gràfic anterior mostra la velocitat ω_2 que havia estat fixada inicialment en $-0,16$ rad/s. La simulació a l'instant inicial és de $-11^\circ/\text{s}$ que representen $-0,19$ rad/s.

Per tant, mitjançant aquestes simulacions es pot donar per vàlids tant els càlculs com les simulacions pel que respecta a les velocitats.

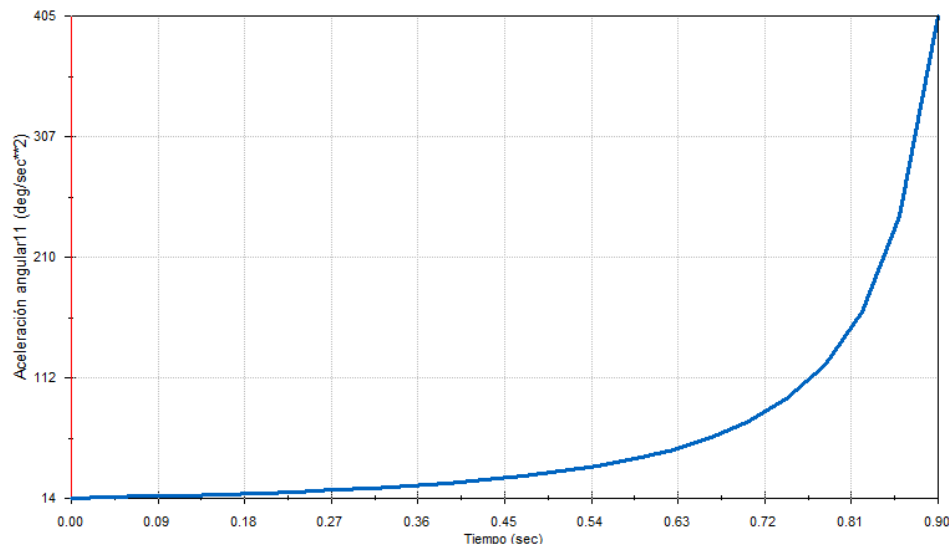


Figura 4.37.- Gràfic acceleració-temps per la barra 4. Imatge pròpia. 06/03/19

En aquest cas s'avaluen les acceleracions, el gràfic de la figura 4.37 representa l'acceleració angular α_4 respecte el temps. Els càlculs han determinat que el valor d'aquesta acceleració era de $0,22$ rad/s i la simulació mostra $14^\circ/\text{s}^2$ que representen $0,24$ rad/s², una diferència acceptable en les mil·lèsimes.

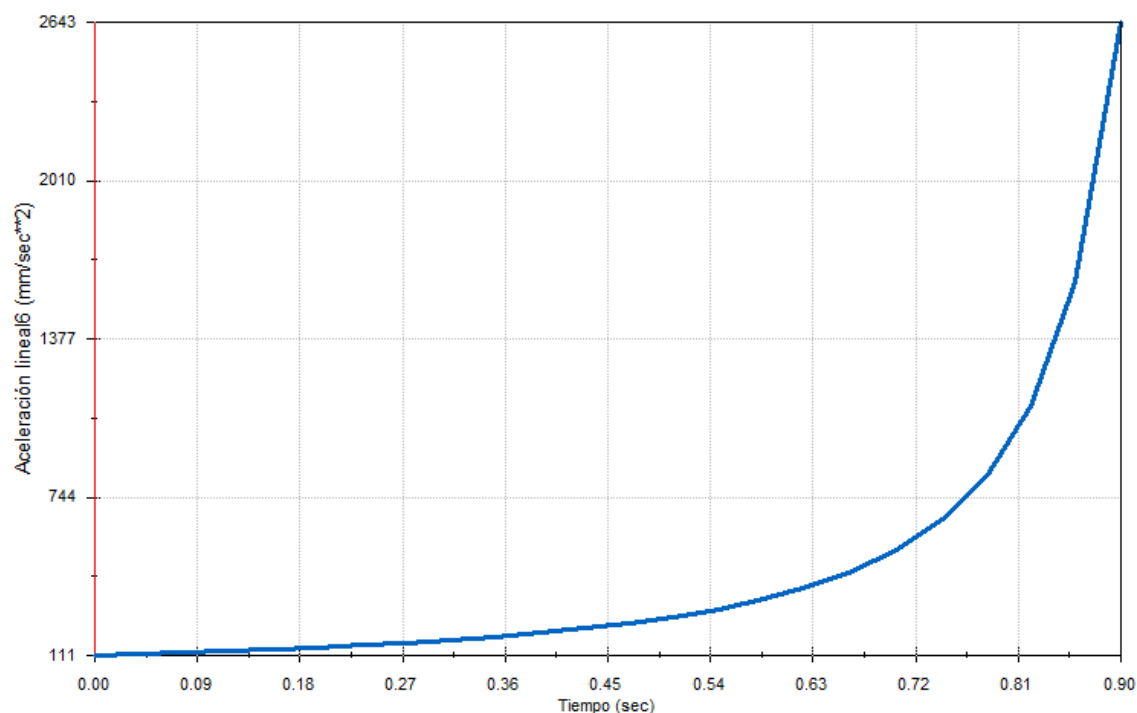


Figura 4.38.- Gràfic acceleració lineal-temps del punt B. Imatge pròpia. 06/03/19

En aquest cas s'ha volgut representar l'acceleració lineal del punt B que mitjançant els càlculs donava un valor d'aproximadament 90mm/s^2 , en l'eix horitzontal i de 36mm/s^2 en l'eix vertical, la magnitud de l'acceleració és de 97mm/s^2 i el gràfic mostra un valor de 111mm/s^2 per tant hi ha una certa diferència, però és admissible ja que és propera al 10%.

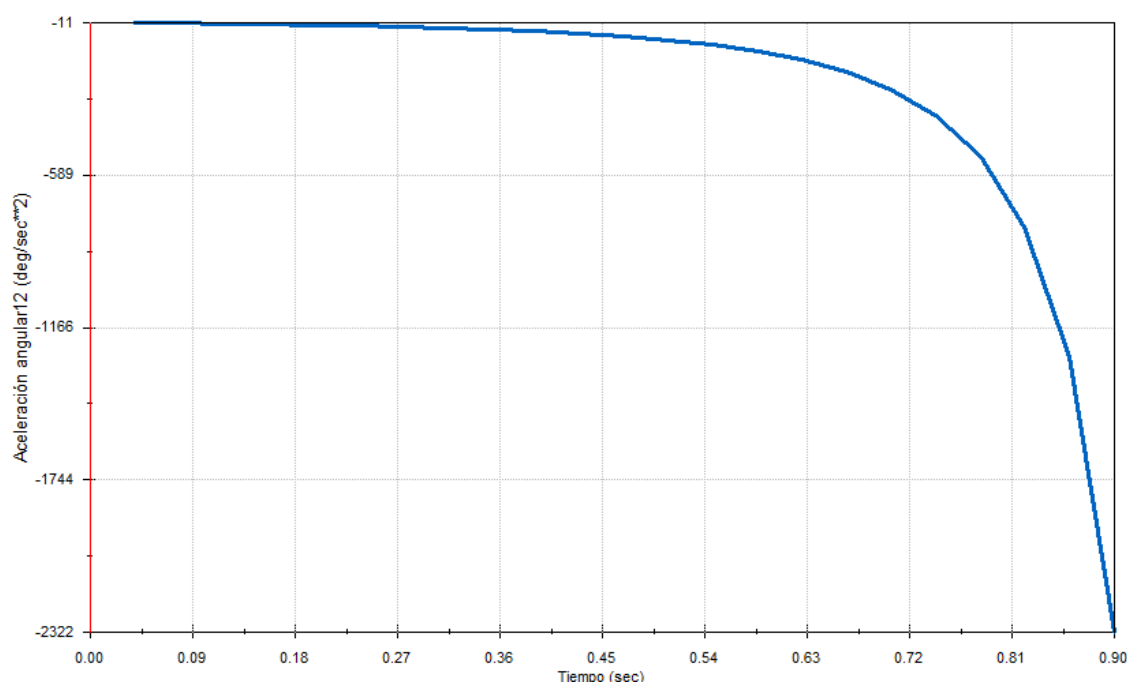


Figura 4.39.-Gràfic acceleració angular-temps per la barra 2. Imatge pròpia. 06/03/19

Aquest últim gràfic mostra l'acceleració angular α_2 respecte el temps, a l'instant inicial els càlculs han aportat el valor de $-0,15 \text{ rad/s}^2$ i el gràfic dona un valor de $-11^\circ/\text{s}$ que representen $0,19 \text{ rad/s}^2$. Les diferències són probablement degudes a les aproximacions presses, però es pot donar per correcte.

Tot i que simulacions i càlculs cassin, les simulacions aporten una informació extra i necessària per tal de seleccionar correctament la velocitat del motor. Si el lector s'adona de l'eix d'abscisses on es mostra el temps pot observar que la simulació finalitza en 0,9 segons, és a dir, en menys d'1 segon el mecanisme s'ha plegat, i les acceleracions són exponencials i arriben a valors molt alts. Això fa que la suposició inicial de que en 10 segons es tanqui el mecanisme no sigui vàlida i per tant cal ajustar el valor de la velocitat del vis sens fi per tal que no es generin acceleracions tant elevades.

Degut a que com s'ha pogut comprovar les simulacions estan acord amb els càlculs. Es determina una velocitat pel vis sens fi que porti uns valors còmodes.

S'ha optat per reduir la velocitat del vis sens fi fins a 30 mm/s que permetia arribar a tancar el mecanisme en 8 segons, però just a la fase final, on ha de quedar completament tancat aportava valors realment elevats com es mostra en el següent gràfic.

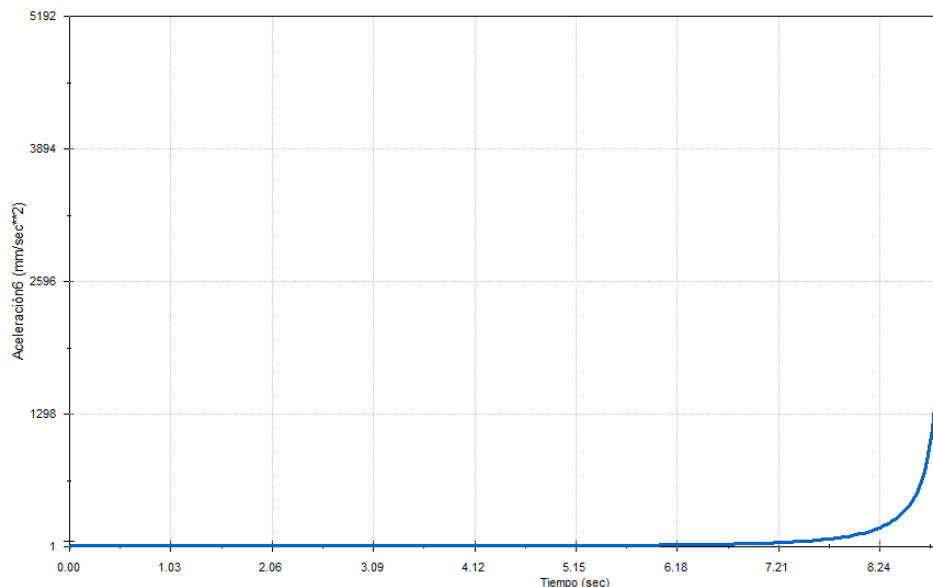


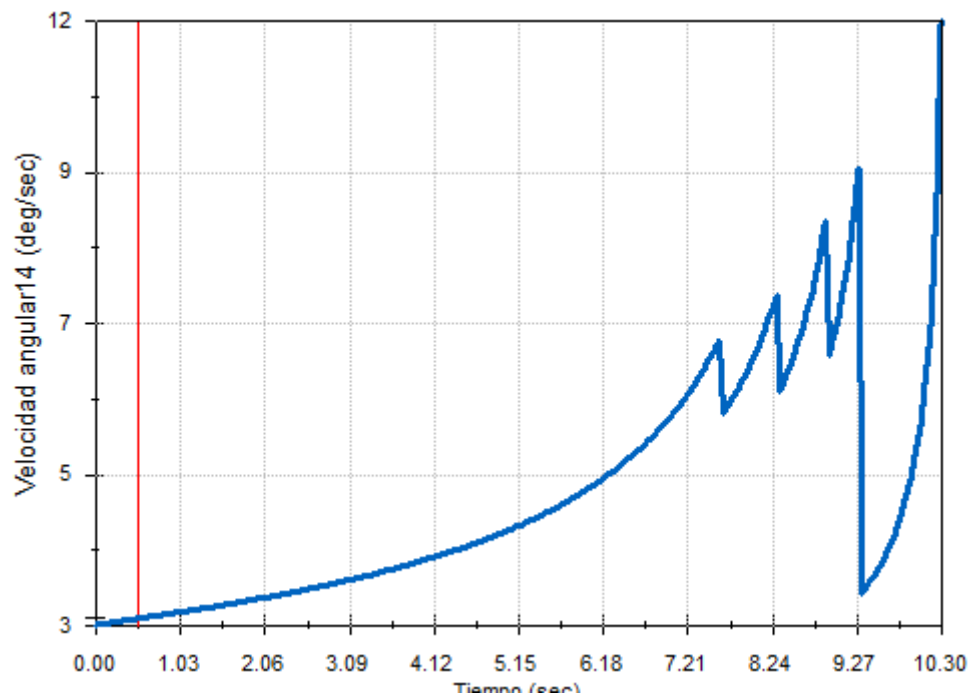
Figura 4.40.- Gràfic acceleració lineal-temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia.
08/03/19

Com es pot veure, l'acceleració és pràcticament nul·la durant tot el transcurs d'operació del mecanisme, però a l'arribar al punt on la barra 2 queda vertical amb la frontissa dona valors de fins a 5 m/s^2 .

Si pel contrari, es tractava de situar una velocitat al vis sens fi de 10 mm/s l'acceleració final tot i ser exponencial no generava valors tant alts però el temps d'operació era massa elevat.

És per això que s'ha optat per tractar d'unir les parts positives d'ambdós resultats en un. El vis sens fi inicia el moviment a 30 mm/s fins just abans d'arribar a la zona exponencial, aleshores, es redueix paulatinament la velocitat fins arribar a 5 mm/s i finalitzar l'operació.

A continuació es mostren els valors de les acceleracions i velocitats que resulten d'interès per tal de poder calcular la dinàmica del sistema.



4.41.-Gràfic velocitat angular-temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19

Com es pot veure al gràfic de la figura anterior, la velocitat angular augmenta dràsticament al final del recorregut del mecanisme fins a 12 graus/s. Per tant s'utilitzarà aquest valor per determinar la força necessària.

$$\bar{\omega}_4 = 0,21k \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Equació
4.777

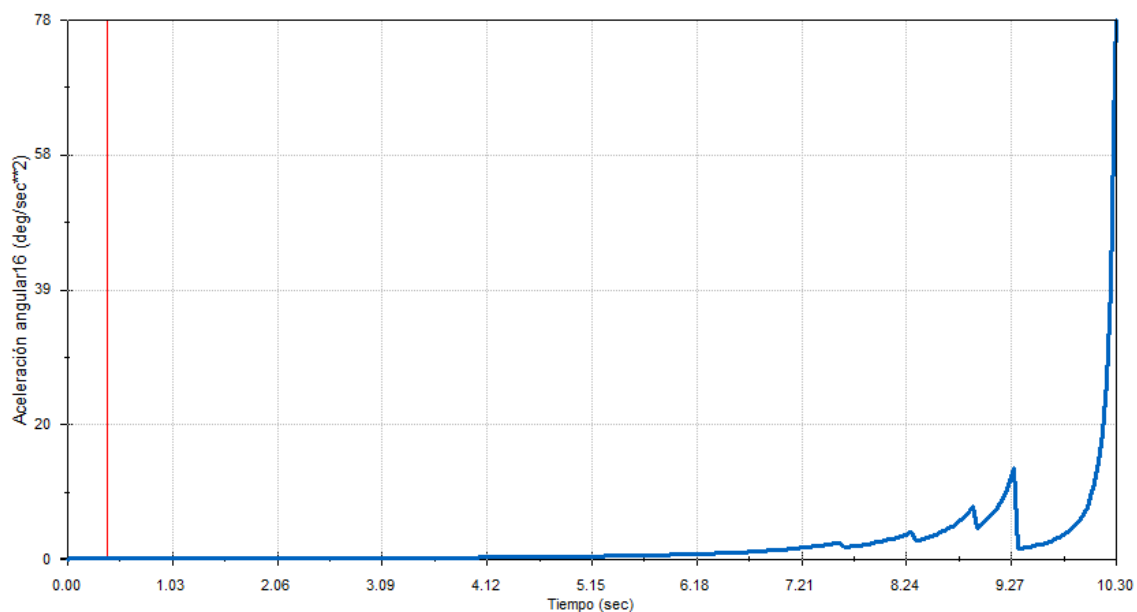


Figura 4.42.- Gràfic acceleració angular-temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19

Degut a que interessa calcular la dinàmica en el punt on requereixi un major esforç per part del motor es selecciona l'acceleració del temps 10,3 que es de $78^\circ/\text{s}^2$ que representen $1,36 \text{ rad/s}^2$.

Per tant:

$$\vec{a}_4 = 1,36 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

Equació
4.788

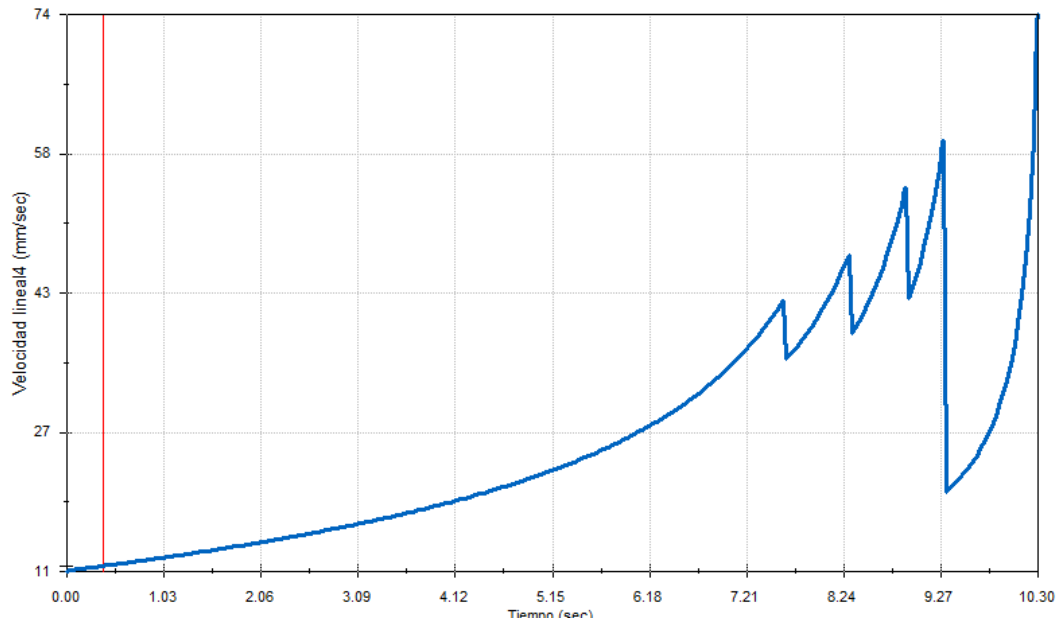


Figura 4.43.- Gràfic velocitat lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19

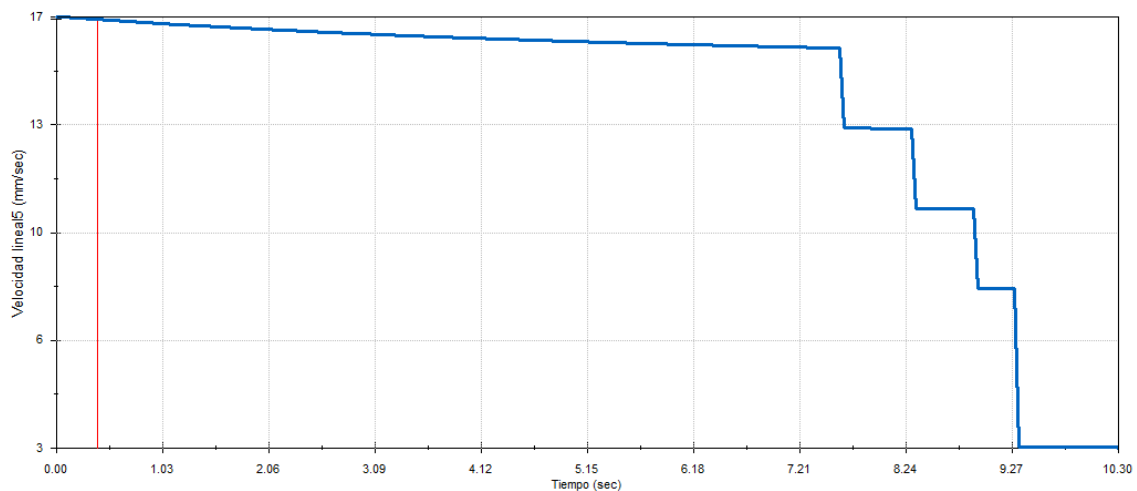


Figura 4.44.- Gràfic de la velocitat lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19

Les figures 4.42 i 4.43 representen les components vectorials de la velocitat en el centre de gravetat de la barra 4, degut a que com era d'esperar el valor màxim de la velocitat es troba en el temps 10,3 segons es selecciona aquesta.

$$\vec{V}_{CG,4} = 0,074i + 0,003j \left[\frac{m}{s} \right]$$

Equació 4.79

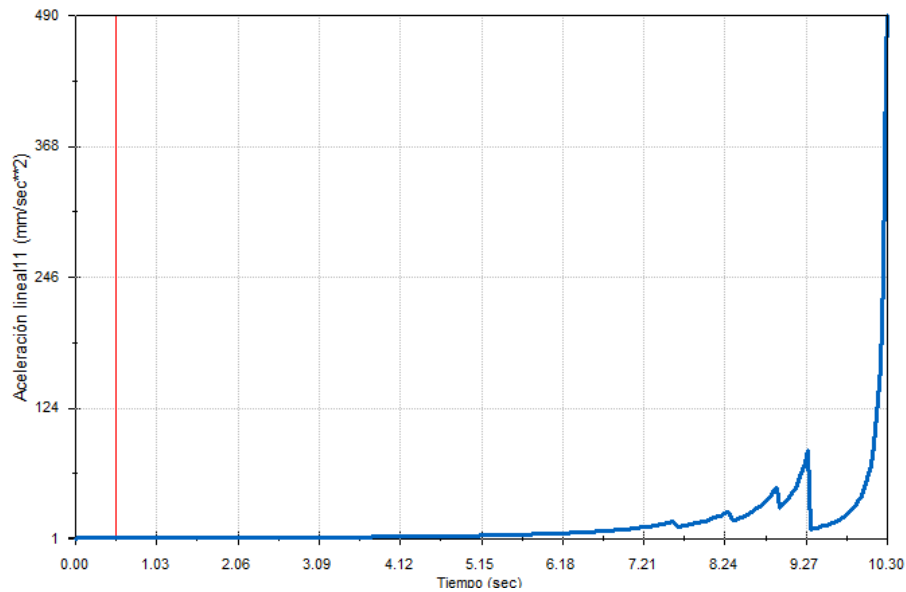


Figura 4.45.-Gràfic acceleració lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19

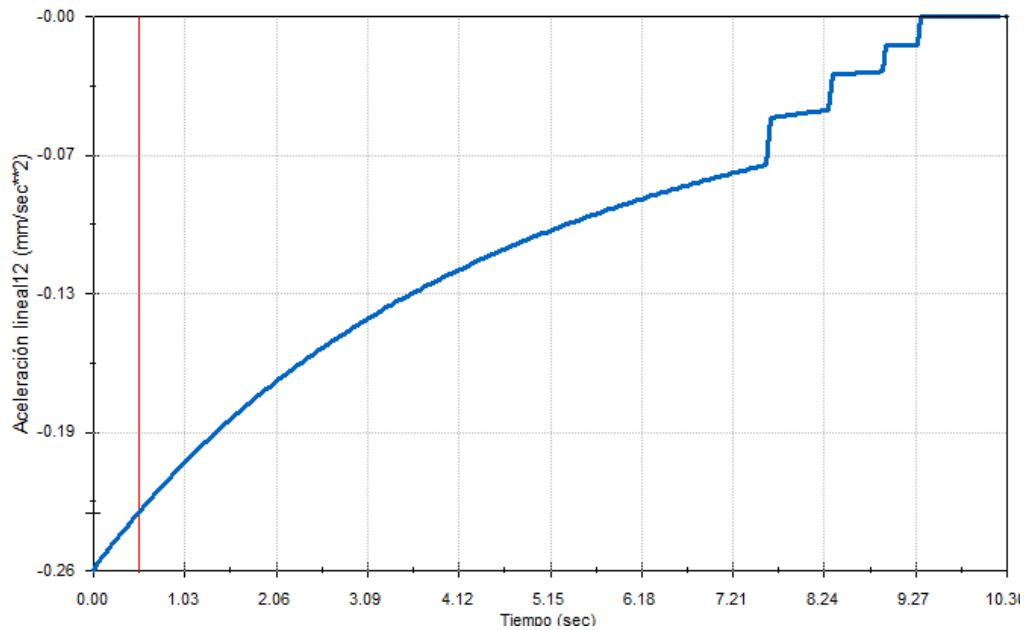


Figura 4.46.-Gràfic acceleració lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 4. Imatge pròpia. 10/03/19

Les figures 4.45 i 4.46 mostren les components de l'acceleració lineal del centre de gravetat de la barra 4, com es pot notar l'acceleració "j" és 0 al final del recorregut, no obstant, el mòdul és màxim en aquest punt.

$$\vec{a}_{CG,4} = 0,49i \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Equació 4.80

A continuació es procedeix a mostrar les gràfiques de la barra 6.

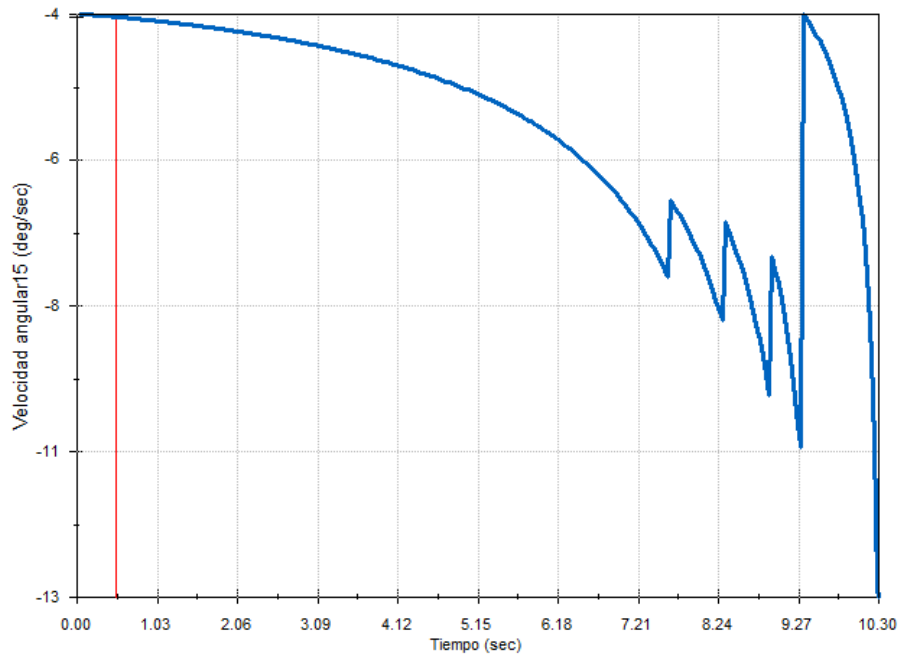


Figura 4.47.-Gràfic velocitat angular- temps de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19

En el punt màxim la velocitat en radians/s és la que segueix:

$$\vec{\omega}_6 = -0,23k \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Equació 4.81

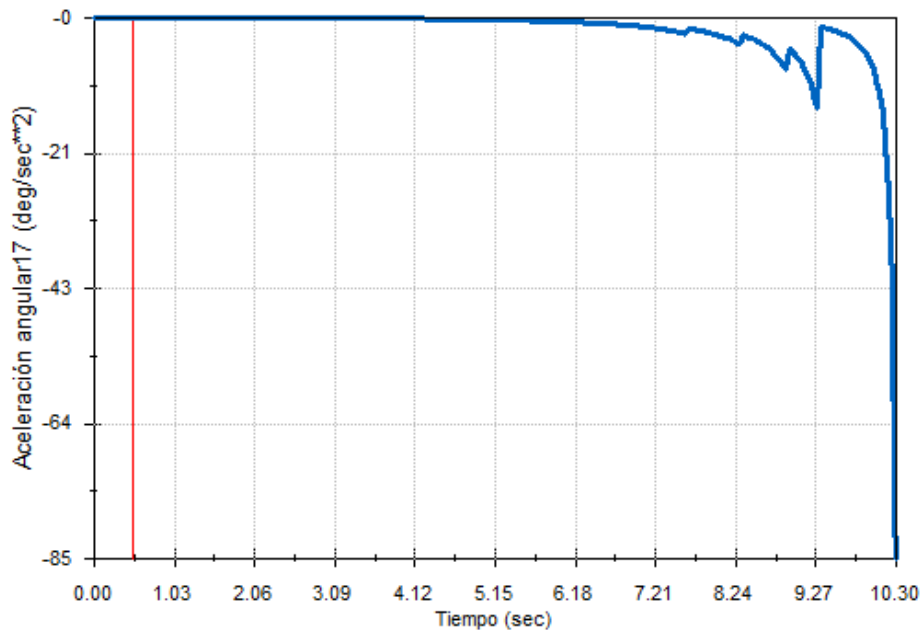


Figura 4.48.-Gràfic acceleració angular- temps de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19

L'acceleració angular màxima de la barra 6 en radians/s és la següent:

$$\vec{\alpha}_6 = -1,48 \left[\frac{rad}{s^2} \right]$$

Equació 4.82

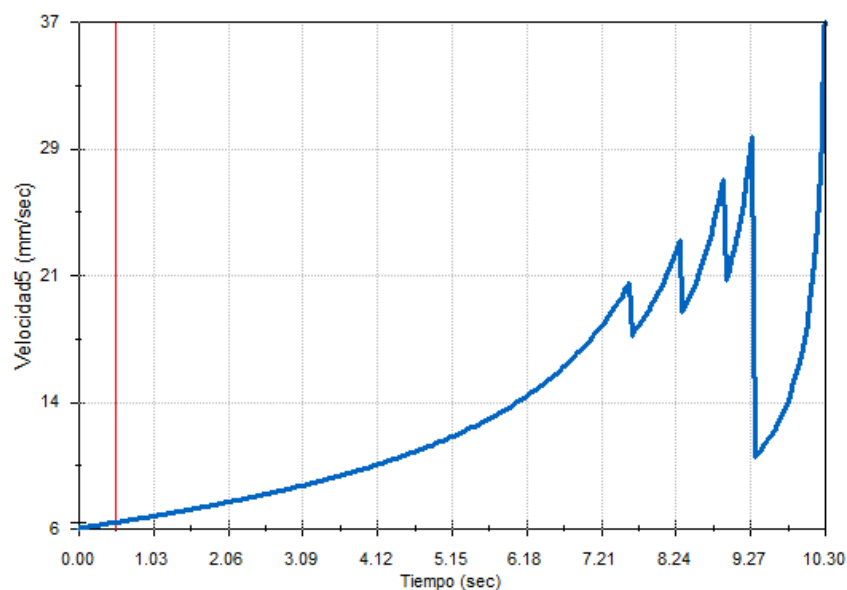


Figura 4.49.-Gràfic velocitat lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia.
10/03/19

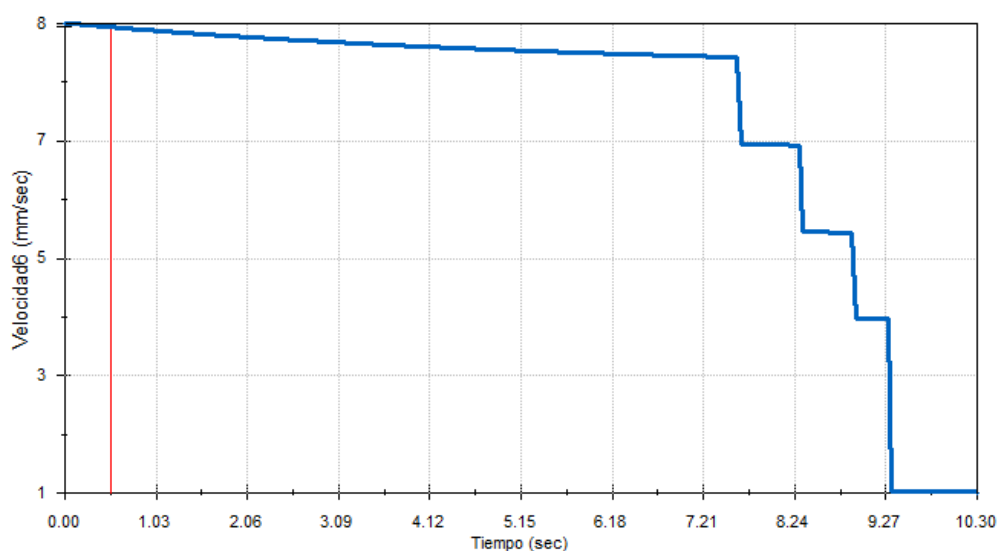


Figura 4.50.-Gràfic velocitat lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia.
10/03/19

La velocitat lineal del centre de gravetat de la barra 6 en el temps 10,3s és la següent:

$$\vec{V}_{CG,6} = 0,037i + 0,001j \left[\frac{m}{s} \right]$$

Equació 4.83

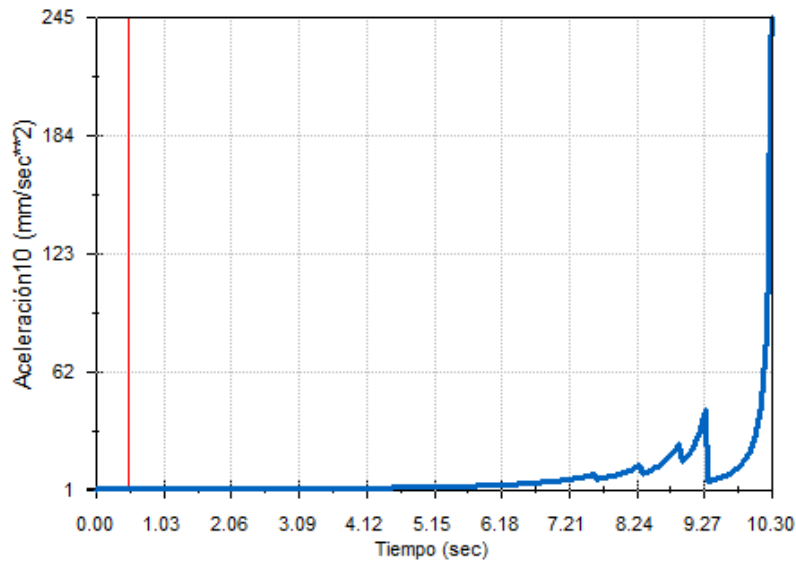


Figura 4.51.-Gràfic acceleració lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19

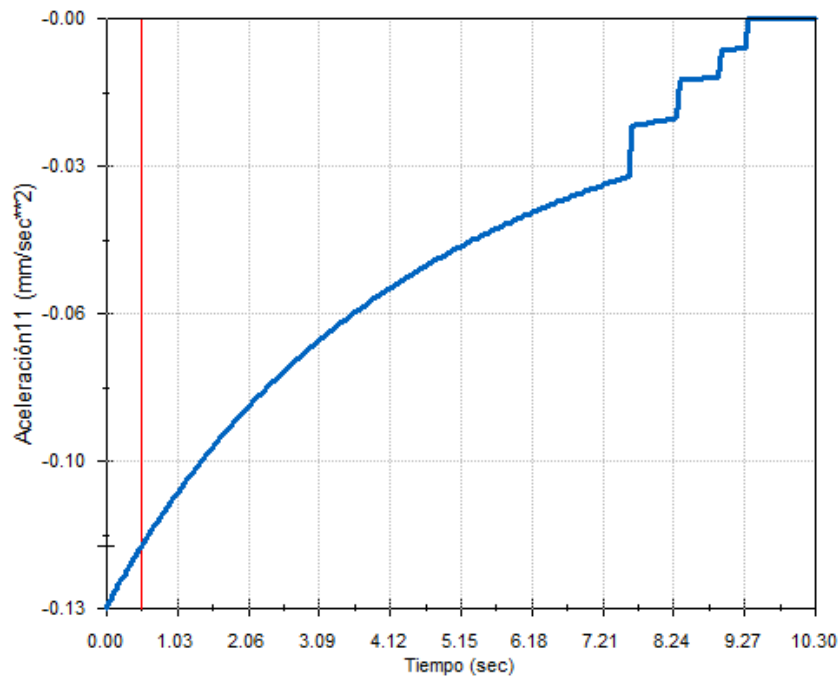


Figura 4.52.-Gràfic acceleració lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 6. Imatge pròpia. 10/03/19

De la mateixa manera que en la barra 4, l'acceleració lineal "j" del centre de gravetat de la barra 6 és nul.

$$\vec{a}_{CG,6} = 0,25i \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Equació 4.84

Finalment, resta trobar els valors per la barra 2 i mostrar la velocitat del dau C.

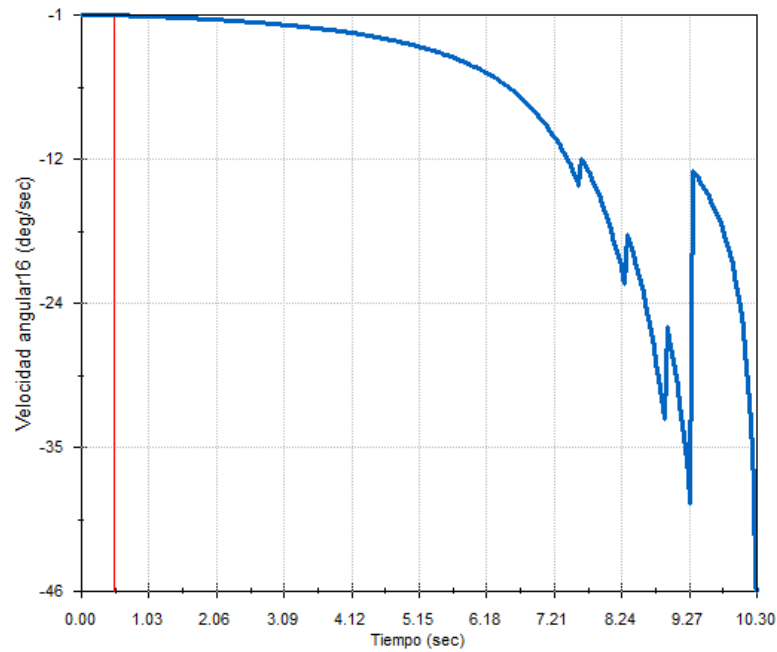


Figura 4.53.-Gràfic velocitat angular- temps de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19

En el punt màxim la velocitat en radians/s és la que segueix:

$$\vec{\omega}_2 = -0,80k \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Equació 4.85

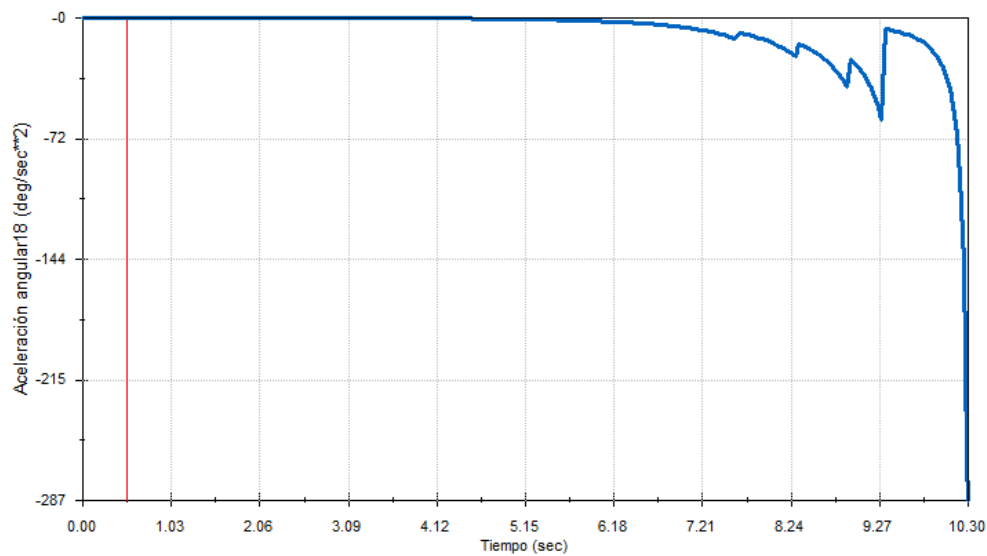


Figura 4.54.-Gràfic acceleració angular- temps de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19

L'acceleració angular màxima de la barra 2 en radians/s és la següent:

$$\vec{\alpha}_2 = -5,01 \left[\frac{rad}{s^2} \right]$$

Equació 4.86

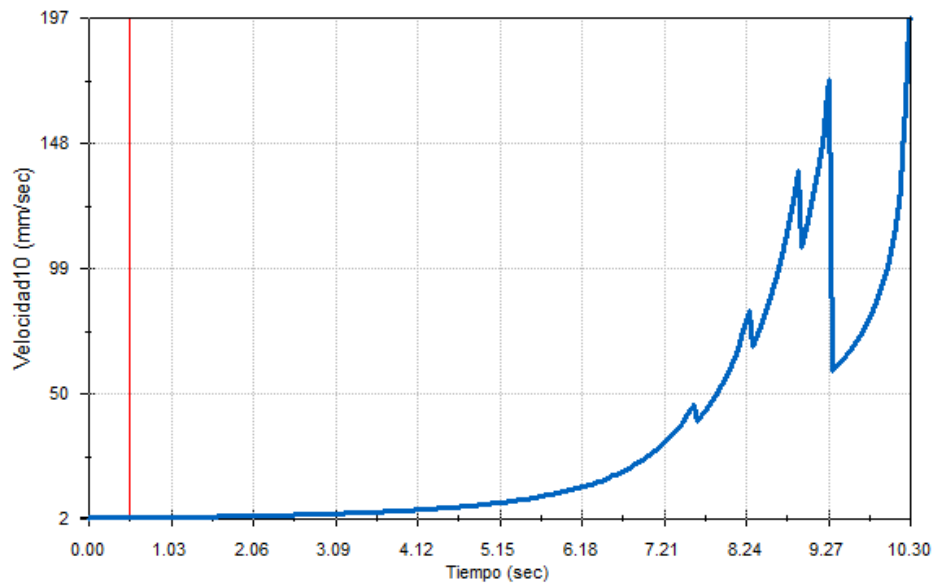


Figura 4.55.-Gràfic velocitat lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia.
10/03/19

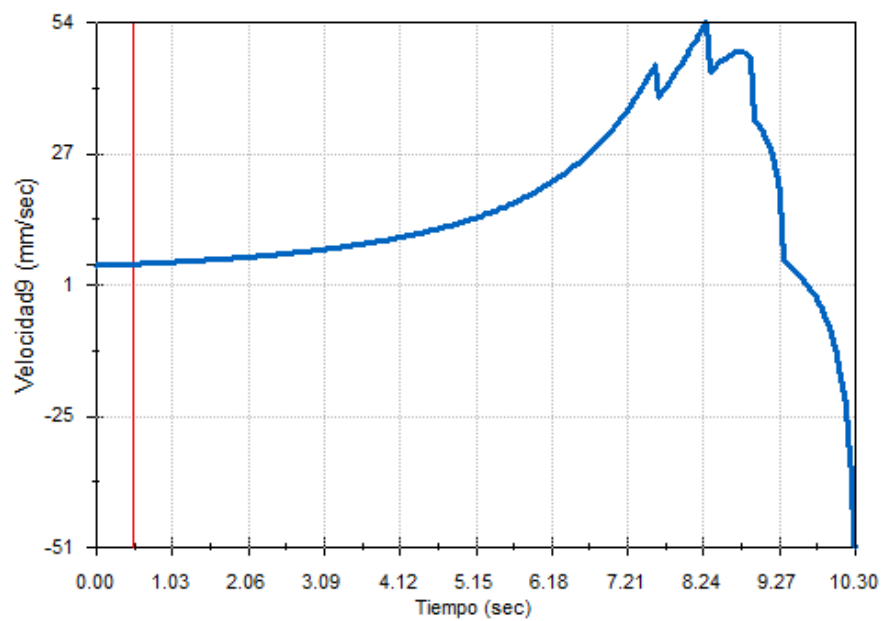


Figura 4.56.-Gràfic velocitat lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia.
10/03/19

La velocitat lineal del centre de gravetat de la barra 2 en el temps 10,3s és la següent:

$$\vec{V}_{CG,2} = 0,20i - 0,051j \left[\frac{m}{s} \right]$$

Equació 4.87

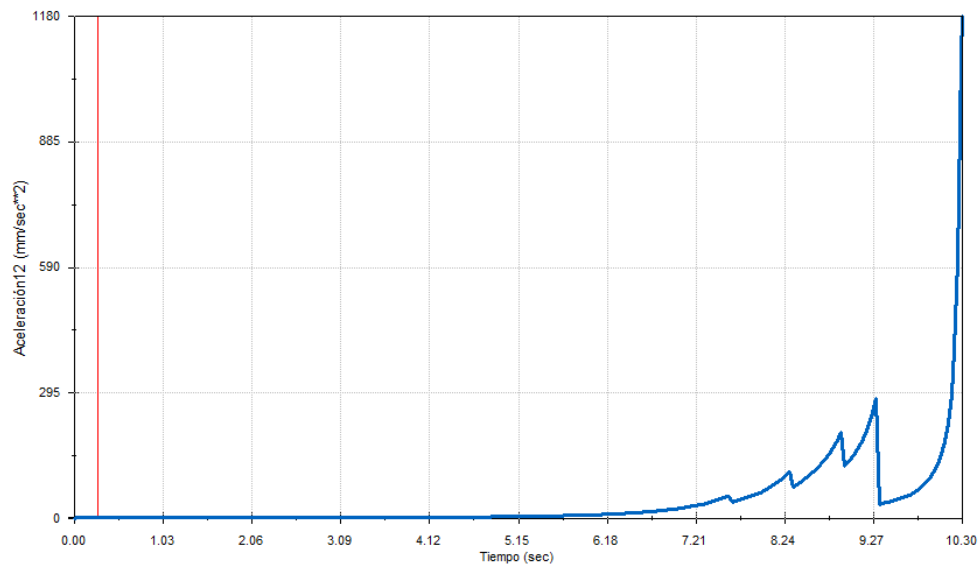


Figura 4.57.-Gràfic acceleració lineal "i"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19

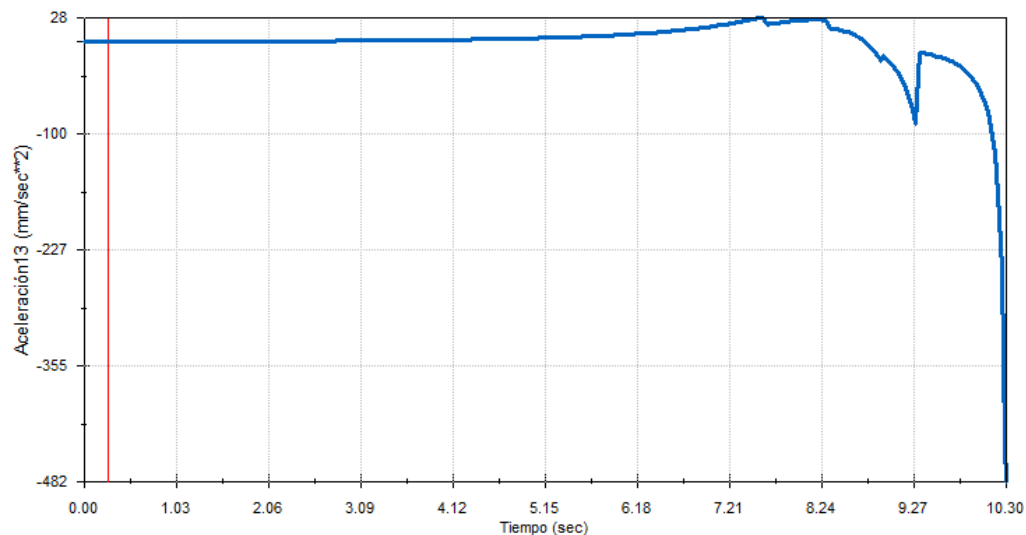


Figura 4.58.-Gràfic acceleració lineal "j"- temps del centre de gravetat de la barra 2. Imatge pròpia. 10/03/19

En aquest cas l'acceleració lineal de la barra 2 és notable i cap de les dues components és nul·la.

$$\vec{a}_{CG,2} = 1,20i - 0,48j \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad \text{Equació 4.88}$$

Finalment, la velocitat del dau, com s'ha especificant anteriorment es va reduït per evitar que les acceleracions augmentin de forma problemàtica.

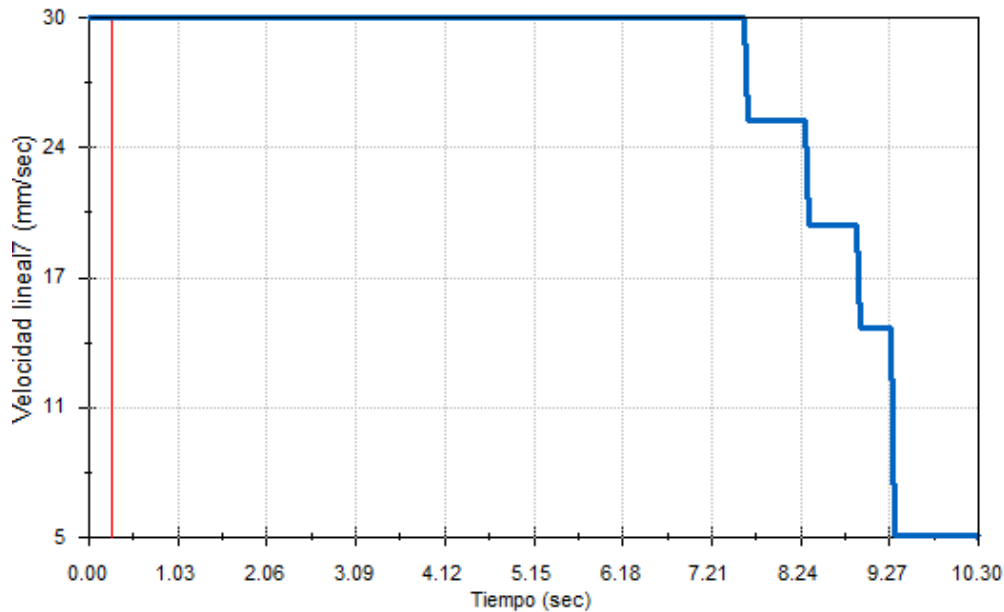


Figura 4.59.-Gràfic velocitat -temps del dau C. Imatge pròpia. 10/03/19

En aquest cas tot i que la velocitat màxima es trobi a l'inici, es suposarà la menor velocitat, ja que l'estudi dinàmic es basa en un instant de temps determinat.

$$\vec{V}_C = 0,005j \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Equació 4.89}$$

Un cop obtingudes totes les velocitats i acceleracions necessàries es pot procedir a calcular la dinàmica del sistema i per tant trobar la força necessària del vis sens fi requerida per moure el conjunt.

4.3.1.4.- Dinàmica

Per tal de trobar el parell motor cal esbrinar la força requerida pel vis sens fi, per fer-ho s'aplicarà la conservació d'energia en forma potencial, mètode dels treballs virtuals del conjunt del sistema tal i com s'explica al llibre "Cinemática y Dinámica de Mecanismos" d'Amelia Nápoles i Jesús Mª Petreñas.

En aquest cas l'equació a aplicar és la següent:

$$\frac{1}{2} F_{Vis \text{ sens fi}} \cdot |\vec{V}_C| + M_{i,4} \cdot \vec{\omega}_4 + (F_{i,4} + P_4) \cdot \vec{V}_{CG,4} + M_{i,6} \cdot \vec{\omega}_6 + (F_{i,6} + P_6) \cdot \vec{V}_{CG,6} + 2 \cdot M_{i,2} \cdot \vec{\omega}_2 + 2 \cdot \left(F_{i,2} + P_2 + \frac{1}{2} P_{GUIA} \right) \cdot \vec{V}_{CG,2} = 0 \quad \text{Equació 4.90}$$

A l'equació anterior $M_{i,x}$ representa el moment d'inèrcia de la barra x i $F_{i,x}$ representa la força de resistència deguda a la inèrcia.

Aquestes dues magnituds es poden calcular com segueix:

$$M_{i,x} = -I_{G,x} \cdot \alpha_x \quad \text{Equació 4.91}$$

$$F_{i,x} = -m \cdot a_{CG,x} \quad \text{Equació 4.92}$$

A la fórmula de l'equació 4.90 s'especifica un 2 que multiplica a les equacions del moment d'inèrcia i de força d'inèrcia, això és degut a que hi ha dues barres 2 i per tant s'han de tenir en consideració, però pel que fa a la guia, és a dir, el pes que permeten

elevat tan sols s'ha de comptar un cop i és per això que hi ha $\frac{1}{2}P_{GUIA}$. També hi ha un $\frac{1}{2}$ multiplicat a la força del vis sens fi, això és degut a que s'està analitzant la meitat del sistema, però el vis sens fi ha de poder aixecar les dues parts del mecanisme.

Mitjançant els valors obtinguts per SolidWorks® a les figures 4.28, 4.29 i 4.30 s'obtenen els valors de la massa i de la inèrcia de cadascuna de les barres. Per facilitar al lector l'obtenció de dades es proposa mostrar els valors a continuació.

$$m_2 = 0,25[kg] \quad \text{Equació 4.93}$$

$$I_{G,2} = 0,0062[kg \cdot m^2] \quad \text{Equació 4.94}$$

$$m_4 = 0,52[kg] \quad \text{Equació 4.95}$$

$$I_{G,4} = 0,027[kg \cdot m^2] \quad \text{Equació 4.96}$$

$$m_6 = 0,26[kg] \quad \text{Equació 4.97}$$

$$I_{G,6} = 0,0032[kg \cdot m^2] \quad \text{Equació 4.98}$$

A partir d'aquests valors i els valors d'acceleracions obtinguts en l'apartat anterior es poden calcular fàcilment les forces, els moments d'inèrcia i els pesos.

$$M_{i,2} = -I_{G,2} \cdot \alpha_2 = -0,0062 \cdot (-5,01) = 0,031 \hat{k} [N \cdot m] \quad \text{Equació 4.99}$$

$$F_{i,2} = -m_2 \cdot a_{CG,2} = -0,25 \cdot (1,20\hat{i} - 0,48\hat{j}) = -0,3\hat{i} + 0,12\hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.100}$$

$$P_2 = m_2 \cdot g = 0,25 \cdot -9,81 = -2,45\hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.101}$$

$$P_{Guia} = m_{conjunt} \cdot g = 2,03 \cdot 9,81 = -20,00\hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.102}$$

$$M_{i,4} = -I_{G,4} \cdot \alpha_4 = -0,027 \cdot (1,36) = -0,037 \hat{k} [N \cdot m] \quad \text{Equació 4.103}$$

$$F_{i,4} = -m_4 \cdot a_{CG,4} = -0,52 \cdot (0,49\hat{i}) = -0,25\hat{i} [N] \quad \text{Equació 4.104}$$

$$P_4 = m_4 \cdot g = 0,52 \cdot -9,81 = -5,10\hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.105}$$

$$M_{i,6} = -I_{G,6} \cdot \alpha_6 = -0,0032 \cdot (-1,48) = 0,0047 \hat{k} [N \cdot m] \quad \text{Equació 4.106}$$

$$F_{i,6} = -m_6 \cdot a_{CG,6} = -0,26 \cdot (0,25\hat{i}) = -0,065\hat{i} [N] \quad \text{Equació 4.108}$$

$$P_6 = m_6 \cdot g = 0,26 \cdot -9,81 = -2,55 \hat{j} [N]$$

Equació
4.107

Seguidament es pot calcular l'equació 4.90, ja que es tenen tots els valors necessaris.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} F_{vis \text{ sens fi}} \cdot |0,005| - 0,037 \hat{k} \cdot 0,21 \hat{k} + (-0,25 \hat{i} - 5,10 \hat{j}) \cdot (0,074 \hat{i} + 0,003 \hat{j}) \\ + 0,0047 \hat{k} \cdot (-0,23 \hat{k}) + (-0,065 \hat{i} - 2,55 \hat{j}) \cdot (0,037 \hat{i} + 0,001 \hat{j}) \\ + 2 \cdot 0,031 \hat{k} \cdot (-0,80 \hat{k}) + 2 \\ \cdot \left(-0,3 \hat{i} + 0,12 \hat{j} - 2,45 \hat{j} + \frac{1}{2} \cdot (-20,00 \hat{j}) \right) \cdot 0,20 \hat{i} - 0,051 \hat{j} = 0 \end{aligned}$$

Equació
4.109

Calculant:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} F_{vis \text{ sens fi}} \cdot |0,005| - 0,0078 - 0,019 - 0,015 - 0,0011 - 0,0024 - 0,0026 \\ - 0,050 - 0,12 + 1,26 = 0 \end{aligned}$$

Equació
4.110

$$F_{vis \text{ sens fi}} = 1,04 \cdot \frac{2}{0,005} = 416 [N]$$

Equació
4.111

Per calcular el parell motor requerit s'utilitza la conservació de potència ideal, per després utilitzar un factor de seguretat que tindran en compte les pèrdues per fricció i l'eficiència del motor.

$$M_{Motor} \cdot \omega_{motor} = F_{vis \text{ sens fi}} \cdot V_{vis \text{ sens fi}}$$

Equació
4.112

La velocitat angular del motor es pot calcular a partir de la velocitat i el pas del vis sens fi.

$$0,005 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot \frac{1 [rev]}{0,002 [m]} \cdot \frac{2 \cdot \pi [rad]}{1 [rev]} = 15,71 [rad/s]$$

Equació
4.113

Substituint valors:

$$M_{Motor} = \frac{416 \cdot 0,005}{15,71} = 0,132 [N \cdot m]$$

Equació
4.114

Degut a que la majoria de fabricants de motors especifiquen el parell en unitats de kg·cm es decideix realitzar el factor de conversió.

$$M_{Motor} = 0,132 [N \cdot m] \cdot \frac{1 [kg]}{9,81 [N]} \cdot \frac{100 [cm]}{1 [m]} = 1,35 [kg \cdot cm]$$

Equació
4.115

Per tant, el motor a seleccionar ha de poder rotar a una velocitat que permeti al vis sens fi moure's de 30mm/s fins a 5mm/s i ha de tenir un parell motor superior a 1,35 kg·cm. La velocitat del motor habitualment es dóna en revolucions per minut, per tant, si es realitza un factor de conversió mitjançant el pas del vis sens fi, la velocitat que ha de poder tenir el motor es de 900rpm. Els motors que permeten fàcilment modificar la seva velocitat i augmentar el parell són els motors de corrent contínua, quan es redueix la velocitat de rotació d'aquest, augmenta el parell, conservant així la potència. A l'apartat de connexions elèctriques es mostrarà el motor seleccionat.

És important advertir que tot i que el mecanisme sembli requerir d'una gran quantitat de força i que es podria evitar l'ús d'aquest simplement situant un motor a les frontisses

que permetés moure les bases de la màquina estalviant elements, si es realitza un simple càlcul, es pot observar que de ser així el motor necessari seria desproporcionat. Si es considera únicament el pes de les guies (20 N per cada guia) i la distància que existeix fins les frontisses (0,35 m). El parell motor requerit seria el següent:

$$M_{Motor} = F \cdot r = 2 \cdot 20 \cdot 0,35 = 14[Nm]$$

**Equació
4.116**

És a dir, aproximadament un parell motor 100 cops superior al utilitzat, uns 140kg·cm. Tot i que la velocitat de rotació sigui menor, motors que permetin donar aquest parell o superior habitualment ocupen força espai, tenen un cost molt elevat i generen una gran quantitat de soroll.

4.3.1.5.- Resistència dels elements

Un cop analitzada la cinemàtica, la dinàmica i la selecció del motor necessari per poder realitzar l'obertura del mecanisme, cal endinsar-se en el món de la resistència dels elements que el componen. Per fer-ho es recorrerà a verificar els casos més desfavorables per a cadascuna de les peces. S'acompanyaran els càlculs d'una simulació realitzada mitjançant el software Ansys® que permet a l'usuari analitzar situacions mitjançant l'ús d'elements finits. Es mostra la següent imatge per facilitar al lector les parts del mecanisme que seran especificades.

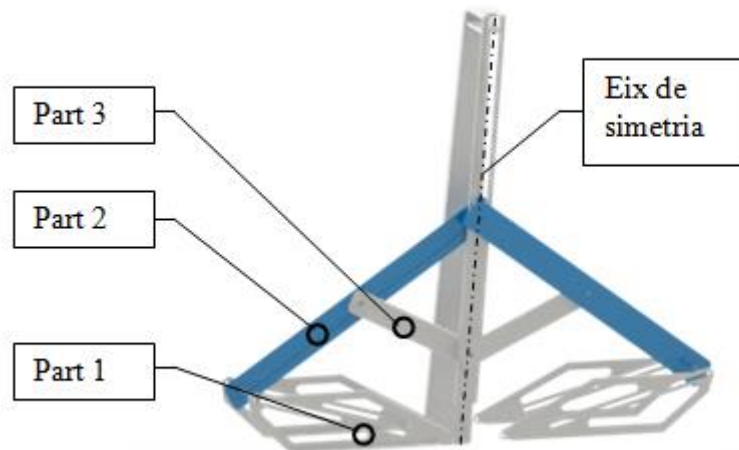


Figura 4.60.- Mecanisme Obertura. Imatge pròpia. 15/03/19

Part 1

S'iniciarà el càlcul dels elements a partir de la part 1. Per tractar de verificar la condició més desfavorable, s'ha optat per analitzar el cas en què el motor tracta de plegar el conjunt rotant la part 1, però aquesta queda bloquejada i per tant s'exerceix una força des de la part 2. Es tracta aleshores d'un problema d'estàtica on primerament es trobaran les forces que actuen per tal de poder calcular la tensió produïda per posteriorment comparar-la amb la del material i determinar si el component resisteix els esforços.

Per simplificar la geometria de la peça i poder efectuar els càlculs de forma més senzilla i comprensible, es proposa analitzar la següent situació.

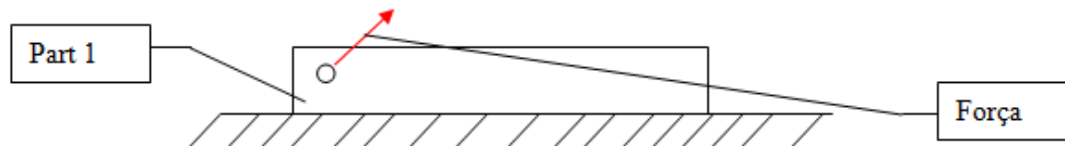


Figura 4.61.- Esquema anàlisi de la part 1. Imatge pròpia. 15/03/19

Mitjançant l'esquema simplificat de la figura anterior, es permet observar fàcilment per quina zona és probable que l'element falli. A la zona on s'aplica la força, la part superior de l'element rebrà una tensió considerable que deformarà la geometria de la peça degut a que l'àrea de contacte és molt reduïda i a més, un orifici és un generador de concentració de tensions que augmenta considerablement l'esforç aplicat.

Per analitzar el problema, és necessari especificar la força que s'està duent a terme. En un cas extrem es pot suposar que una quarta part de la força (degut a que hi ha 4 "parts 1" en el mecanisme) del vis sens fi (Equació 4.111) s'aplica directament sobre la zona de contacte. Per tant es podria considerar una força de 104 Newtons en la direcció de la part 2 del mecanisme.

Per tal de determinar l'àrea on s'aplica la força, s'ha de traslladar la força a la part superior i considerar de forma simplificada que l'element està sotmès a tracció, com s'il·lustra a la següent imatge.

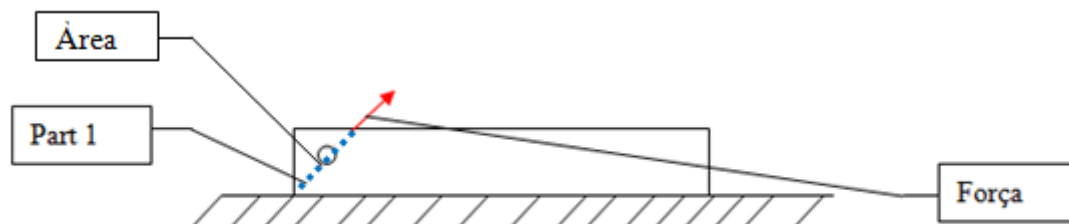


Figura 4.62.- Àrea on s'aplica la força. Imatge pròpia. 15/03/19

Per tal de calcular l'àrea caldria calcular la distància de la línia blava, restar la zona perforada i multiplicar-ho per l'espessor.

La línia blava marcada en la figura 4.62, es pot trobar en el pitjor dels cassos a partir de la següent imatge com a es mostrarà a continuació.

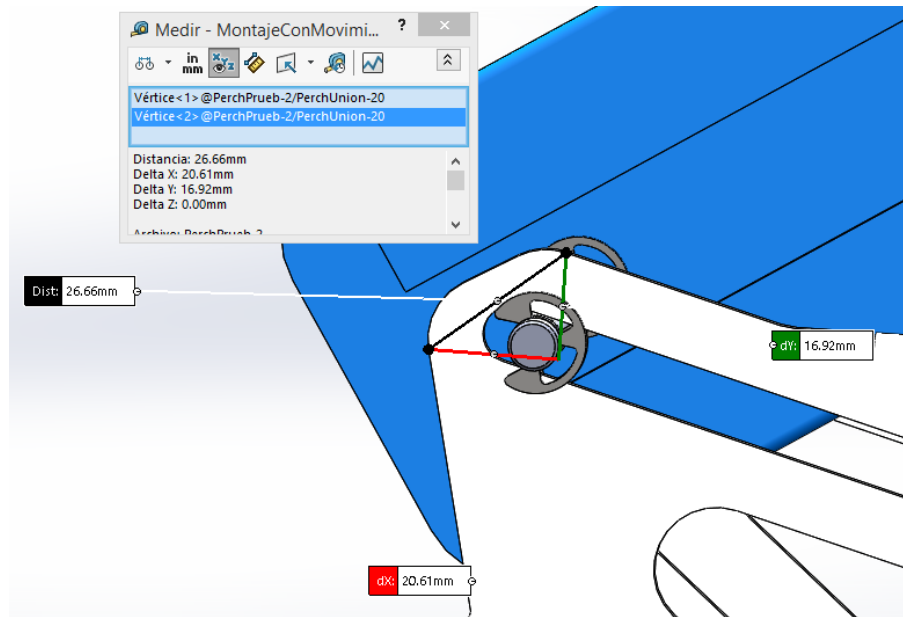


Figura 4.63.- Càlcul de l'amplada de l'àrea on s'aplica la força. Imatge pròpia. 20/03/19

Per tant, tenint en compte que l'espessor és de 2mm, l'orifici té un diàmetre de 9mm i la mínima amplada que es pot considerar és 27 mm, l'àrea serà la següent:

$$A_{\text{contacte}} = (w - \phi_{\text{corró}}) \cdot e_{\text{xapa}} = (0,027 - 0,009) \cdot 0,002 = 36 \cdot 10^{-6} [m^2]$$

**Equació
4.117**

La tensió que s'està aplicant en aquest punt depèn del factor de concentració de tensions generat per l'orifici. En aquest cas simplificat es pot considerar el següent gràfic per tal de trobar el factor de concentracions de l'element.

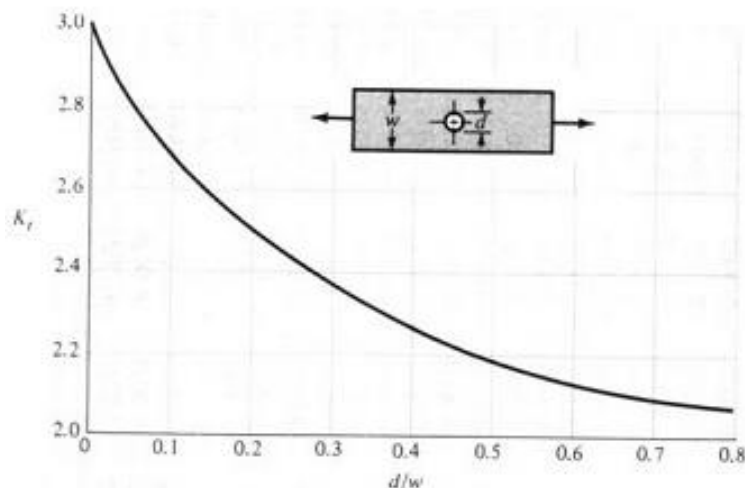


Figura 4.64.- Factor de concentració de tensions, barra en tensió o compressió simple amb orifici transversal. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Budynas, Richard i Nisbett, J. Keith. Mc Graw Hill. 2008

En aquest cas, s'ha considerat "w" els 27mm de la figura 4.63 i el diàmetre és de 9mm per tant la relació entre el diàmetre i l'amplada és d'un terç.

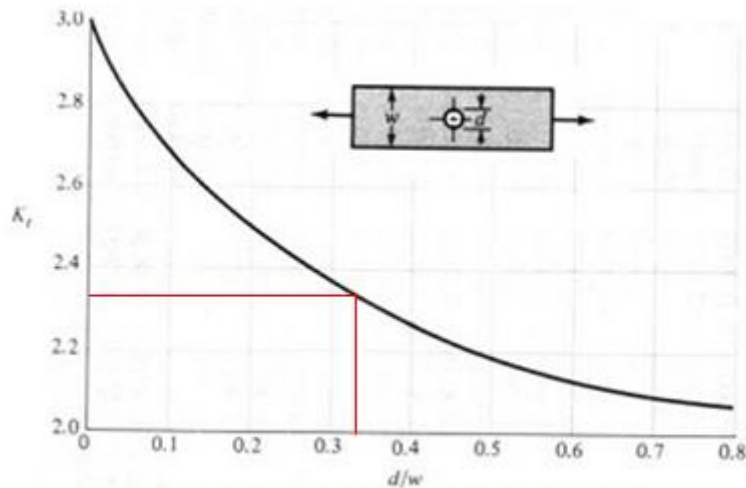


Figura 4.65.- Determinació del factor de concentració de tensions. Imatge pròpia. 15/03/19

Per tant, com mostra la figura anterior el factor de concentració de tensions és proper a 2,4. Tot i que no arriba a aquest valor, es decideix ser conservador en aquest aspecte i s'agafa com a valor de càlcul.

La tensió aplicada màxima serà la que es mostra a continuació.

$$\sigma_{\max} = K_t \cdot \frac{F}{A} = 2,4 \cdot \frac{104}{36 \cdot 10^{-6}} = 6,93 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 6,93 \text{ MPa}$$

**Equació
4.118**

El material utilitzat és Alumini 5083-O, la selecció del material s'aborda en propers apartats, no obstant, la límit elàstic d'aquest material ronda els 110MPa, per tant el valor mostrar és molt llunyà a aquest límit.

A continuació es mostra una simulació realitzada en Ansys® per corroborar el resultat.

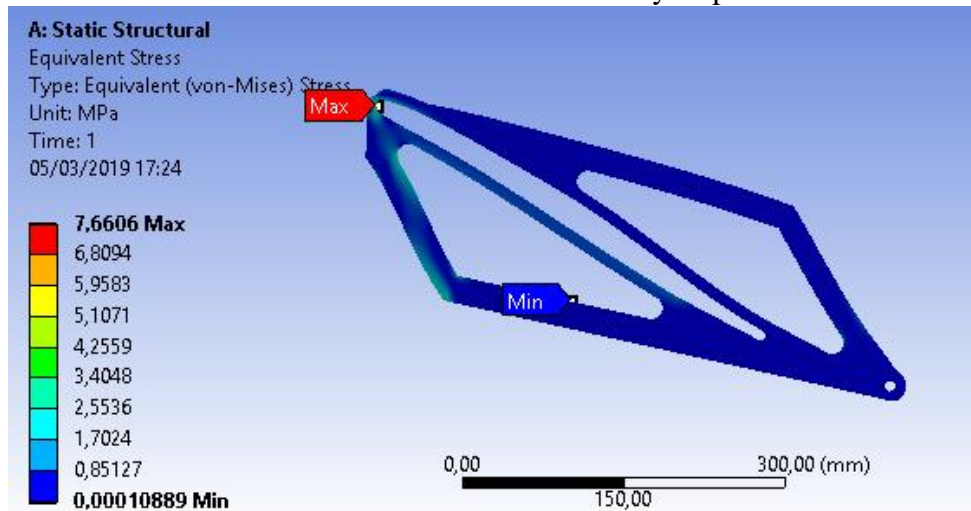


Figura 4.66.- Simulació en Ansys de la peça 1, anàlisi de la tensió de Von Mises. Imatge pròpia. 15/03/19

En aquesta imatge, es pot apreciar que la tensió màxima de Von Mises és de 7,7MPa, un valor molt proper al càlcul realitzat, hi ha certes diferències degudes a la geometria i al fet que es tracta d'una tensió equivalent, per contra en l'anàlisi matemàtic realitzat es considera una única tensió principal, però realment hi ha tensions normals i tangencials que afecten a la peça, la tensió de Von Mises és un valor fictici agrupant totes les

tensions en un únic número a partir de l'energia de distorsió que facilita comparar-la amb el límit elàstic del material²².

A continuació es mostren les deformacions y el desplaçament que pateix l'element.

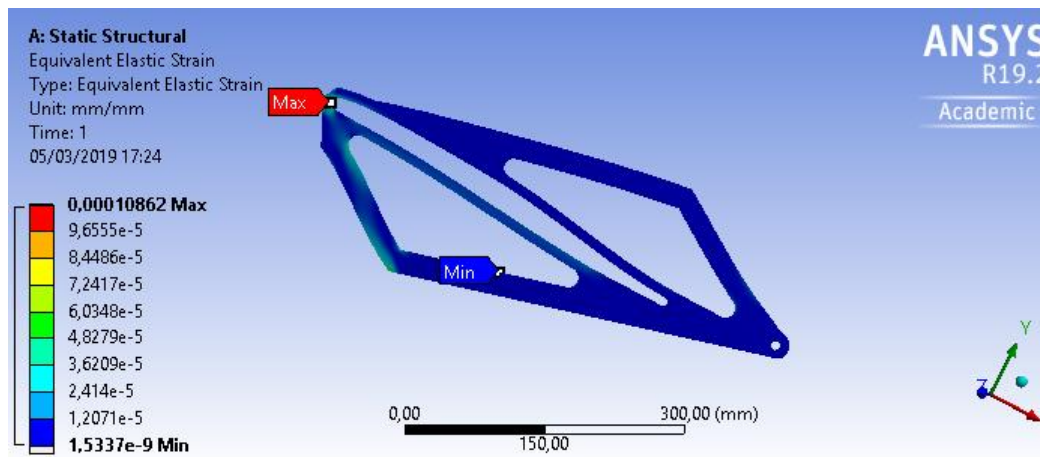


Figura 4.67.- Deformació unitària de l'element 1. Imatge pròpia. 15/03/19

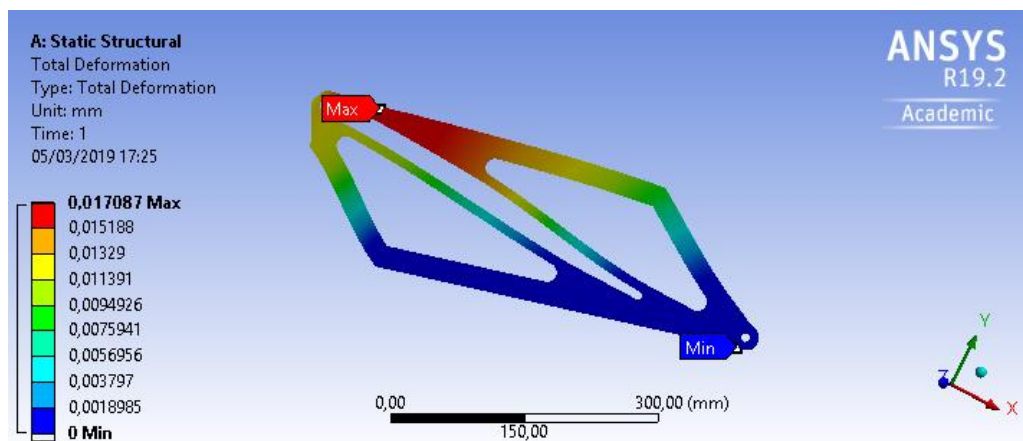


Figura 4.68.- Desplaçament en mm de la part 1. Imatge pròpia. 15/03/19

Com es pot observar a la figura 4.67, la deformació es comporta de la mateixa forma que la tensió, això és degut a que són proporcionals ja que es troben en el camp elàstic i la constant de proporcionalitat és el mòdul elàstic (E).

D'altra banda, el desplaçament màxim, com era d'esperar es produeix a la part superior, però tot i que a la imatge sembla realment gran, això és degut a causa d'un factor que s'ha aplicat per tal de poder veure amb facilitat com es deformaria. Tot i així el valor màxim de desplaçament és de 0,02mm bàsicament imperceptible per l'ull humà i no causa problemes de funcionament.

Tot i així aquesta peça ha estat plegada en els extrems en 180° per millorar la rigidesa d'aquest, augmentant l'espessor, per tant amplificant l'àrea.

Part 2

A continuació, es realitzarà l'estudi de la resistència de la part 2 del mecanisme. Es tractarà d'analitzar la situació més desfavorable i comparar-la posteriorment amb una simulació per computadora mitjançant elements finits.

El cas més desfavorable per la part 2 seria el moment en què el motor tractés de plegar el sistema, però les guies quedessin bloquejades i per tant no es pogués moure. Es tracta de nou d'un cas estàtic i es pot analitzar com si es tractés d'una biga isostàtica doblement recolzada.

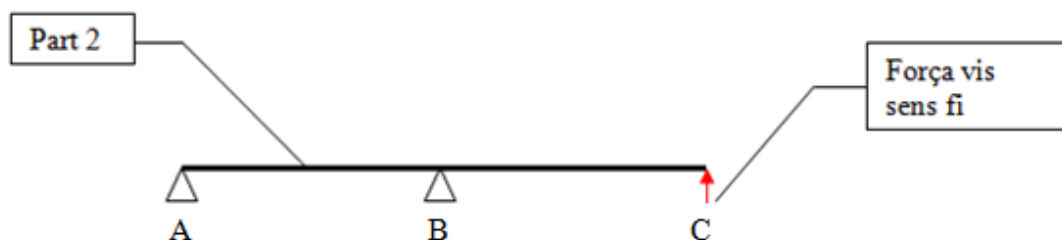


Figura 4.69.- Esquema simplificat del cas més desfavorable per la part 2. Imatge pròpia. 20/03/19

La força aplicada en aquest cas seria la meitat de la força del vis sens fi, que com s'ha comentat és de 416 N per tant 208 N aplicats a l'extrem de la part 2. La distància del punt A al punt B és la mateixa que la del punt B al Punt C de 0,36 metres.

A continuació, es proposa calcular les reaccions de l'element mitjançant l'equilibri de forces i moments. El criteri de signes considerat obeeix al sistema levogir, és a dir, la rotació antihorària es considera positiva.

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 208 \cdot 0,72 + R_B \cdot 0,36 = 0 \quad \text{Equació 4.119}$$

$$R_B = \frac{-208 \cdot 0,72}{0,36} = -416 \hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.120}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A + R_B + 208 = 0 \quad \text{Equació 4.121}$$

$$R_A = 416 - 208 = 208 \hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.122}$$

Un cop conegudes les reaccions, es pot procedir a realitzar els diagrames d'esforços, degut a que no hi ha component axial, els diagrames representats seran els de tallants i els de moments.

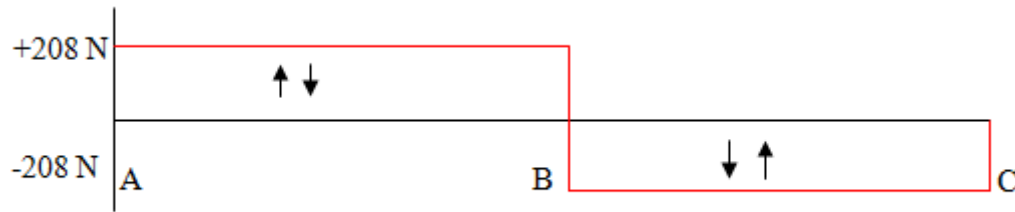


Figura 4.70.- Diagrama de tallants per la part 2. Imatge pròpia. 23/03/19

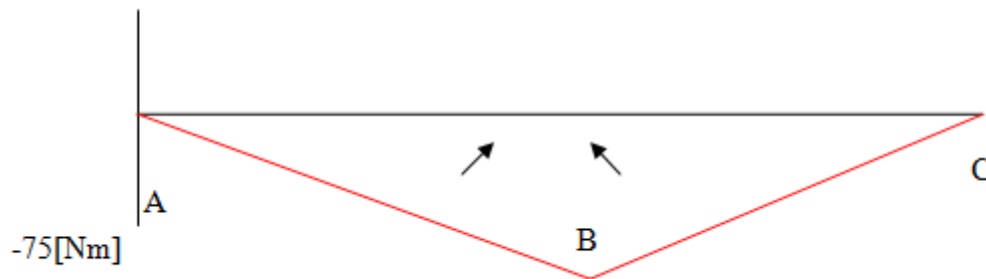


Figura 4.71.- Diagrama de moments flectors per la part 2. Imatge pròpia. 23/03/19

El valor màxim del diagrama de moments es pot trobar per diferents formes, en aquest cas s'ha aplicat el mètode de les àrees que es basa en la relació integral que existeix entre els tallants i els moments i bàsicament es pot calcular un punt del diagrama de moments com l'àrea que hi ha en el diagrama de tallants.

$$|M_{fmax}| = 280 \cdot 0,36 = 75[Nm]$$

Equació
4.123

Un cop obtingut el moment flector màxim es pot trobar la tensió aplicada realitzant la suposició de que la xapa que forma la part 2 es pot analitzar com si es tractés d'una biga rectangular.²² Evidentment existeix un error d'aproximació que serà validat amb el càlcul per elements finits. No obstant, el valor no pot ser molt llunyà al valor real.

El punt on s'aplicarà l'equació per obtenir la tensió és clar, el punt B. Ja que és on es troba el màxim valor de moment que és el que genera major esforços a l'element i a més té un forat el que fa que hi hagi un concentrador de tensions.

Per tal de calcular la tensió deguda al moment flector s'aplica l'equació de Navier-Bernoulli.²²

$$\sigma = \frac{M \cdot v}{I_z}$$

Equació
4.124

On:

- M és el moment flector, en aquest cas 75 Nm
- v és la distància de la fibra neutra a la fibra amb major tensió
- Iz és la inèrcia d'àrea de la biga.

Per determinar la distància de la fibra neutra a la fibra sotmesa a major tensió, cal observar com es comporta la tensió normal deguda al moment flector en una biga.

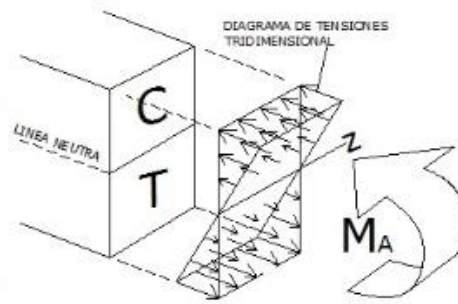


Figura 4.72.- Comportament de les tensions davant un moment flector. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.Budynas&Nisbett.2008

Com es pot veure a la figura anterior, la tensió és màxima extrems de l'element i en el cas present aquest valor és de 0,09m

La inèrcia es pot calcular a partir de la següent equació:

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b \cdot (h - \phi)^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,004 \cdot (0,18 - 0,009)^3 = 1,67 \cdot 10^{-6} [m^4] \quad \text{Equació 4.125}$$

Finalment, tot i que l'alumini és dúctil a mode de càlculs es considera un material fràgil i per tant requereix de factor de concentració de tensions.

D.2.- Barra rectangular con agujero transversal sometida a flexión,

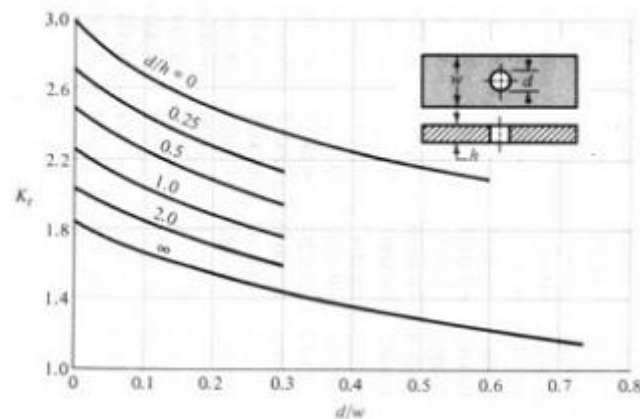


Figura 4.73.- Diagrama concentració de tensions. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Budynas&Nisbett.2008

En aquest cas, w és 0,18m, d és 0,009m i h és 0,004m, per tant el factor de concentracions obtingut és el següent.

D.2.- Barra rectangular con agujero transversal sometida a flexión,

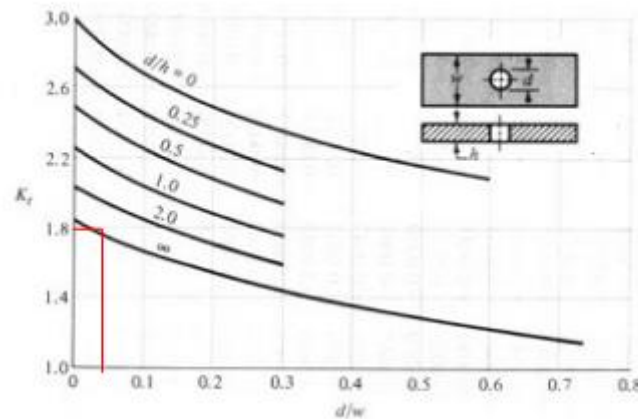


Figura 4.74.- Concentrador de tensions per la part 2. Imatge pròpia. 23/03/19

Per tant, el factor de concentració d'esforços és bàsicament 1,8. Substituint els valors a l'equació 4.124.

$$\sigma = 1,8 \cdot \frac{75 \cdot 0,09}{1,67 \cdot 10^{-6}} = 7,28 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 7,28 \text{ MPa}$$

Equació
4.126

Per verificar els resultats, s'ha optat per realitzar una simulació computacional en Ansys®, a partir de la geometria real de la peça.

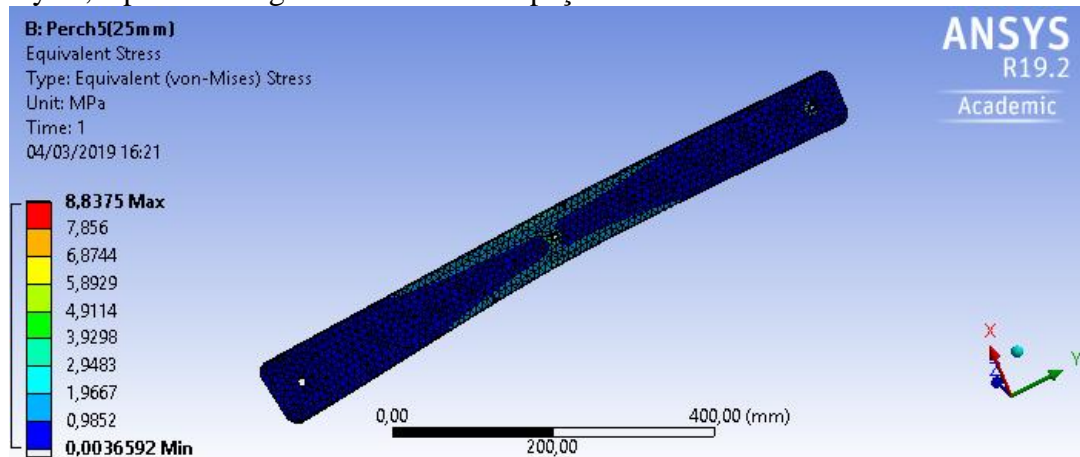


Figura 4.75.- Simulació computacional de les tensions de la part 2 en Ansys. Imatge pròpia. 30/03/19

Com es pot veure tot i que les tensions són properes a les calculades, la simulació aporta un resultat superior, això pot ser degut a que l'espessor considerat en els càlculs és de 4mm, però realment hi ha zones on és de 2mm degut a que s'ha plegat els extrems 180°. No obstant, com es pot veure, les tensions són màximes a la zona considerada crítica i el valor no supera els 110MPa, per tant, l'element es troba a la zona elàstica sense perill d'arribar a una deformació plàstica considerable.

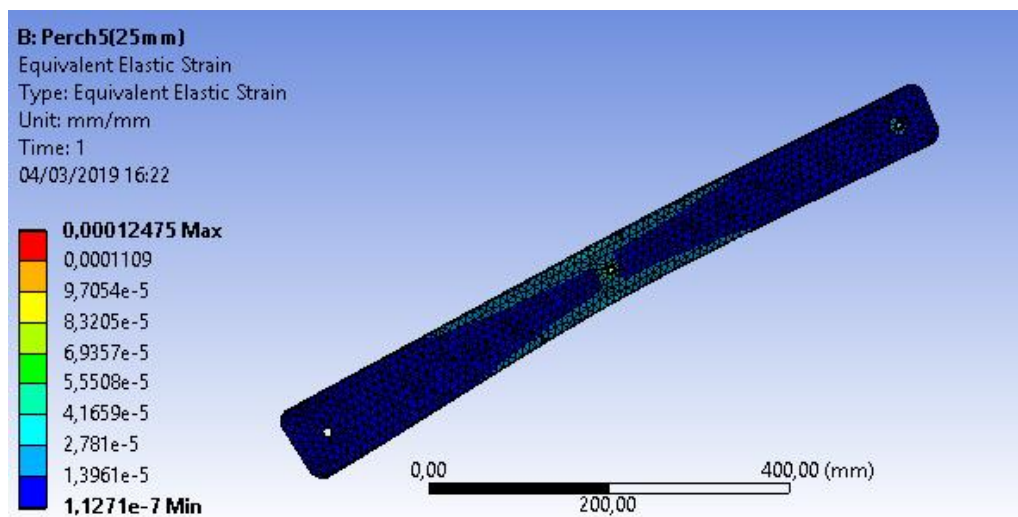


Figura 4.76.- Deformacions produïdes a la part 2 en Ansys. Imatge pròpia. 30/03/19

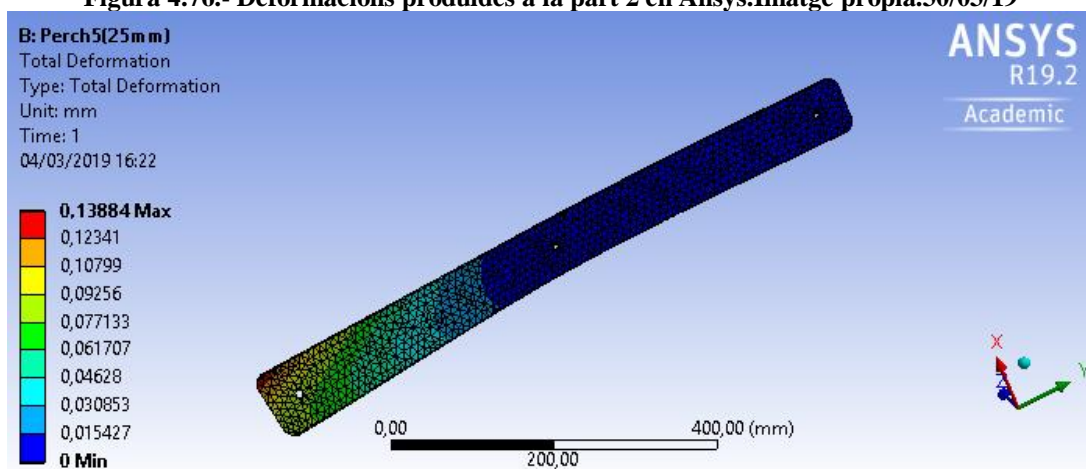


Figura 4.77.- Desplaçament en mm de la part 2 en Ansys. Imatge pròpia. 30/03/19

Com permet observar la figura 4.77, en el cas extrem, el desplaçament màxim que pot patir la peça és de 0,14mm, es tracta d'un valor ínfim que no perjudica el correcte funcionament de l'aparell i la zona on es troba l'orifici que permet la connexió amb el vis sens fi pot arribar a patir un desplaçament màxim de 0,1mm, degut a que s'ha deixat una tolerància al disseny, aquest desplaçament no generarà enclavaments que poguessin suposar un inconvenient.

Part 3

A continuació, es realitzarà el càlcul de resistència de la part 3. El cas més desfavorable s'ha considerat que pot ocórrer si la part 3 del mecanisme quedés bloquejada en un dels seus extrems i el motor tractés de plegar la peça. La força en aquest cas seria de 208 N, que representa la meitat de la força del vis sens fi, ja que en el mecanisme hi ha dues "parts 3" simètriques.

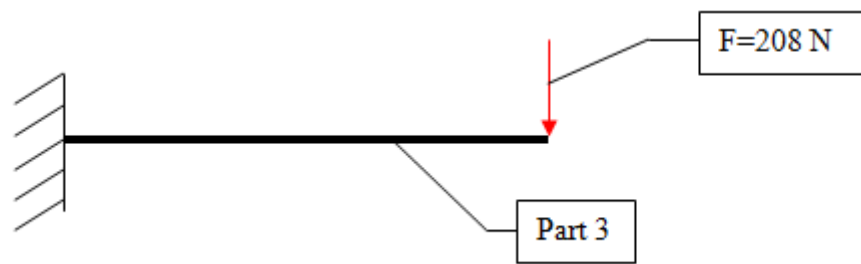


Figura 4.78.- Esquema de l'anàlisi de la part 3

Com es pot evidenciar, es tracta d'un cas simple de biga en voladís. Seguidament es calcularan les reaccions per poder realitzar els diagrames d'esforços.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_A - 208 = 0 \quad \text{Equació 4.127}$$

$$R_A = 208 \hat{j} [N] \quad \text{Equació 4.128}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow -208 \cdot 0,33 + M_A = 0 \quad \text{Equació 4.129}$$

$$M_A = 69 \hat{k} [Nm] \quad \text{Equació 4.130}$$

Coneixent les reaccions que pateix l'element es poden realitzar els diagrames d'esforços corresponents, degut a que no existeix part axial, es realitzaran els diagrames de tallants i flectors.

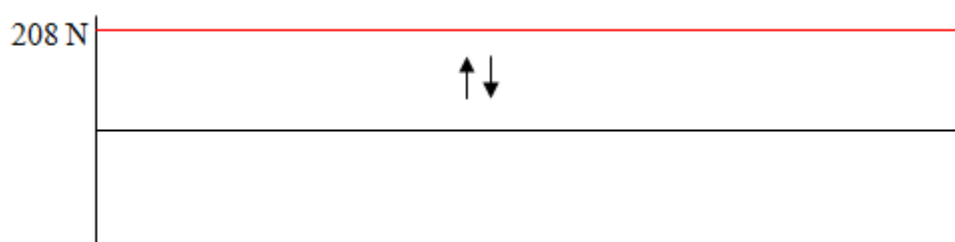


Figura 4.79.- Diagrama de tallants per la part 3. Imatge pròpia. 05/04/19

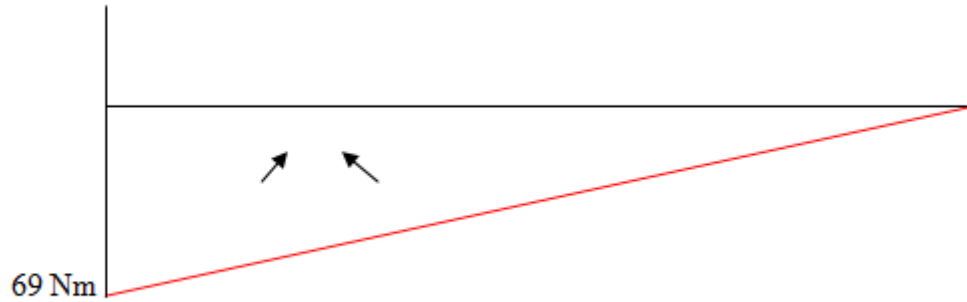


Figura 4.80.- Diagrama de moments flectors de la part 3. Imatge pròpia. 05/04/19

Com es pot evidenciar fàcilment el punt crítica es troba a l'extrem bloquejat amb un flector de 69Nm, per tant, es calcularà la tensió normal que genera aquest moment a partir de l'equació de Navier-Bernoulli, considerant l'element 3 com si es tractés d'una biga rectangular per tal de facilitar els càlculs.

$$\sigma = \frac{M \cdot v}{I_z} \quad \text{Equació 4.131}$$

En el cas present, v té un valor de 0,03m i la inèrcia es calcula a continuació.

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot b \cdot (h - \phi)^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,006 \cdot (0,06 - 0,009)^3 = 66,33 \cdot 10^{-9} [m^4] \quad \text{Equació 4.132}$$

Per calcular el factor concentrador de tensions s'utilitzarà la gràfica de la figura 4.73.

D.2.- Barra rectangular con agujero transversal sometida a flexión,

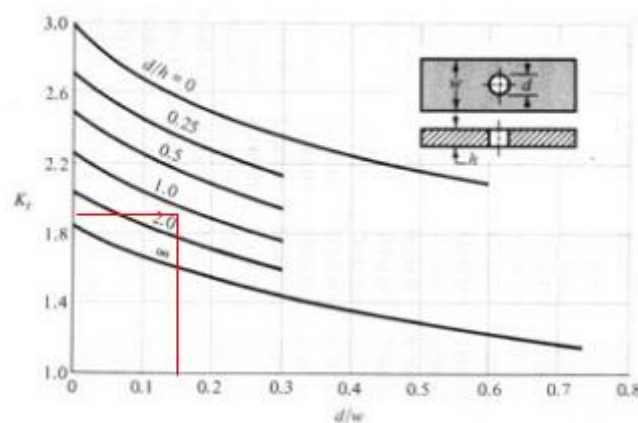


Figura 4.81.- Factor concentrador de tensions per la part 3. Imatge pròpia. 10/04/19

Com il·lustra la figura anterior, el factor concentrador de tensions és proper a 2 i per anar del costat de la seguretat s'utilitzarà aquest valor.

$$\sigma = 2 \cdot \frac{69 \cdot 0,03}{66,33 \cdot 10^{-9}} = 62,41 \cdot 10^6 Pa = 62,41 MPa \quad \text{Equació 4.133}$$

El valor de la tensió és altament superior als anteriors casos, tot i així es troba lluny del límit elàstic i per tant no suposa un gran problema, a més s'ha de tenir en compte que al plegar un metall augmenta la seva resistència i conseqüentment el límit elàstic del material.

Per corroborar la fiabilitat del resultat, igual que en els casos anteriors s'ha realitzat un estudi estàtic en Ansys.

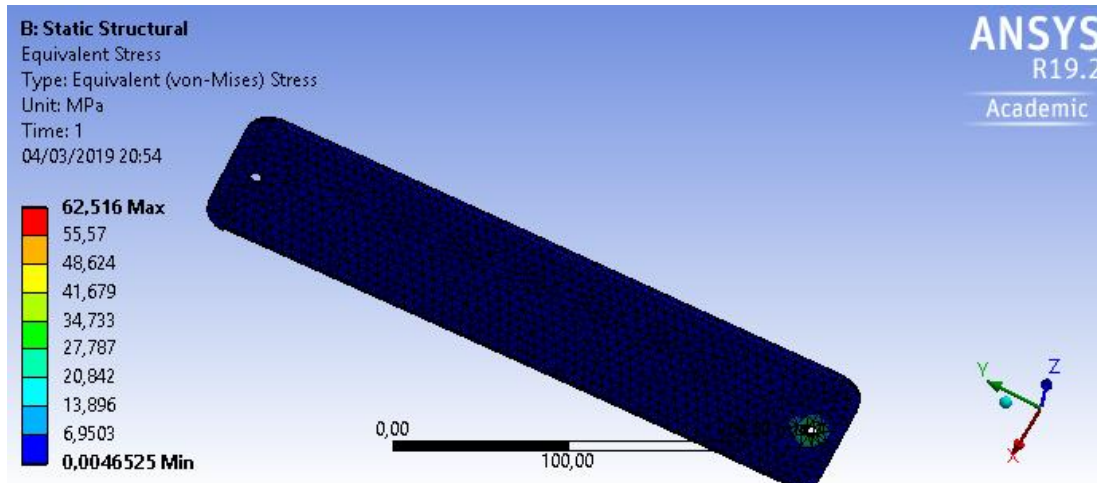


Figura 4.82.- Anàlisi de la peça 3 en Ansys. Imatge pròpia. 10/04/19

Les tensions passen amb les calculades. En la part 3 la zona de plegat dels extrems en 180° és proporcionalment superior a la part 2 i degut a això l'aproximació adoptada amb l'espessor s'ajusta més a la realitat. Les tensions màximes com es pot observar es troben a l'extrem com es podia intuir.

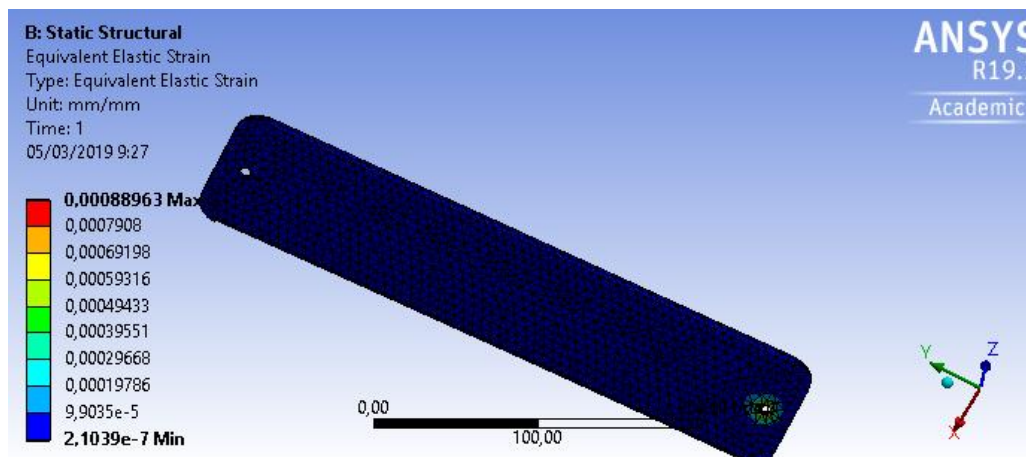


Figura 4.83.- Deformació unitària de la part 3. Imatge pròpia. 10/04/19

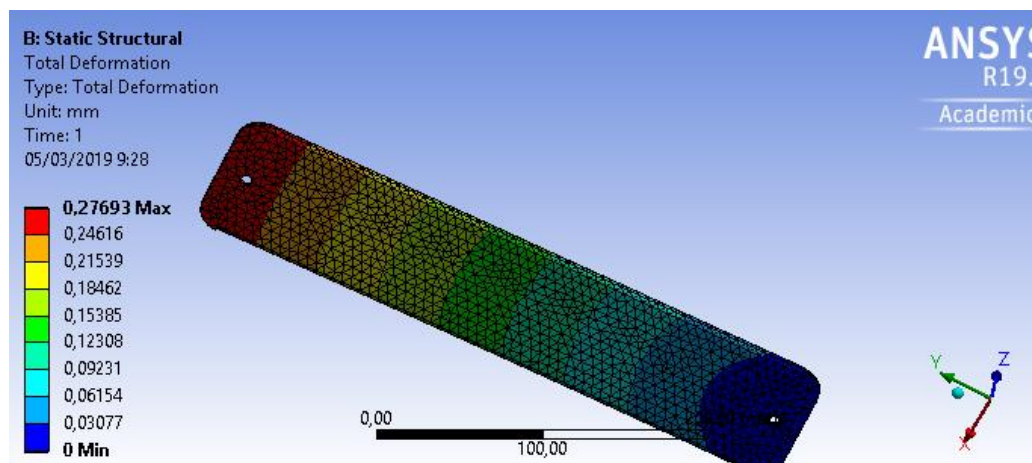


Figura 4.84.- Desplaçament de la part 3. Imatge pròpia. 10/04/19

El desplaçament màxim que pateix la peça és de 0,28mm, aquests desplaçaments no perjudiquen el correcte funcionament de l'element i per tant es pot arribar a acceptar aquesta condició.

Penjador

L'element que es pretén analitzar a continuació, consta d'una geometria força complexa de calcular i unes condicions que dificulten en excés una aproximació fiable de la realitat.

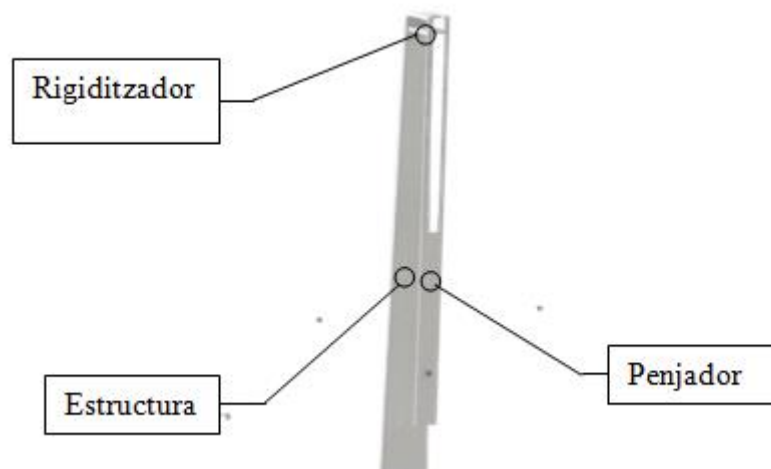


Figura 4.85.- Penjador de l'estructura. Imatge pròpia. 10/04/19

Com es pot veure a la figura anterior, consta de zones obertes i soldades pels extrems a una estructura amb espessors diversos, a més conté plegats en les diverses parts per tal de donar resistència al conjunt, però que no permeten una simplificació adequada.

És degut a aquests motius, que el penjador s'ha analitzat mitjançant elements finits, ja que en els casos anteriors, la simulació s'ha pogut verificar amb els càlculs realitzats, es pot confiar en la veracitat d'aquesta. A causa de que els elements finits tot i que permeten arribar a una solució fiable, no deixen de ser un mètode numèric aproximat, s'ha optat per dissenyar l'estructura amb un espessor de 8mm i situar un rigiditzador que evita desplaçament inadequats. Les condicions de contorn aplicades corresponen al pes d'una jaqueta de 2kg, que es considera que és probablement el màxim pes d'una

vestimenta que es pot planxar i 416N aplicats a la zona de connexió de la part 3 suposant un bloqueig per part de les guies. A més el penjador es troba fixat a la part inferior de l'estructura com es podrà observar a les simulacions.

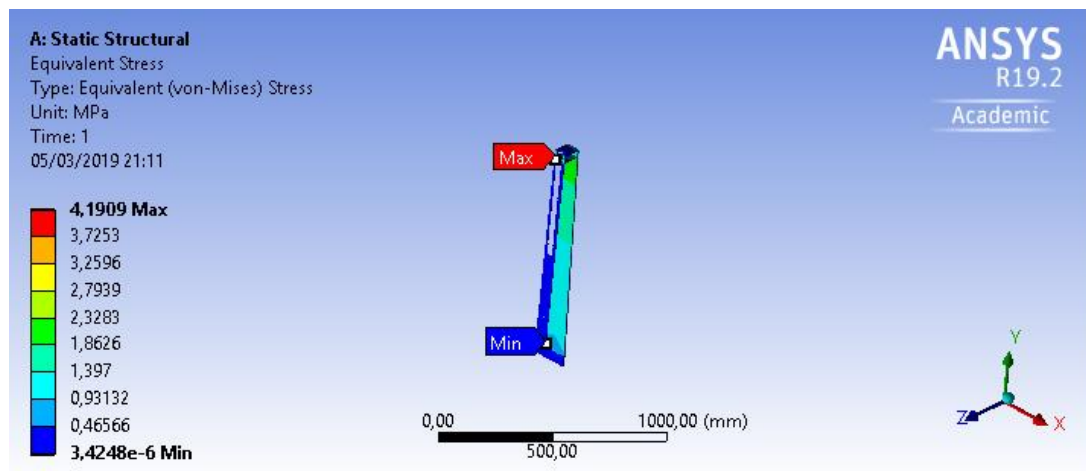


Figura 4.86.- Simulació computacional en Ansys de la tensió de Von-Mises. Imatge pròpia. 10/04/19

Com es pot veure, la tensió màxima es trasllada a la part superior on el rigiditzador i part de l'estructura pateixen una tensió màxima de 4,2MPa. El penjador d'altra banda al no estar aguantat per la part inferior no té pràcticament cap esforç.

La tensió màxima de Von-Mises en aquest cas, respon tant a esforços deguts a un moment flector com esforços tangencials a la zona de contacte, no obstant, el valor no suposa un inconvenient per la resistència del material.

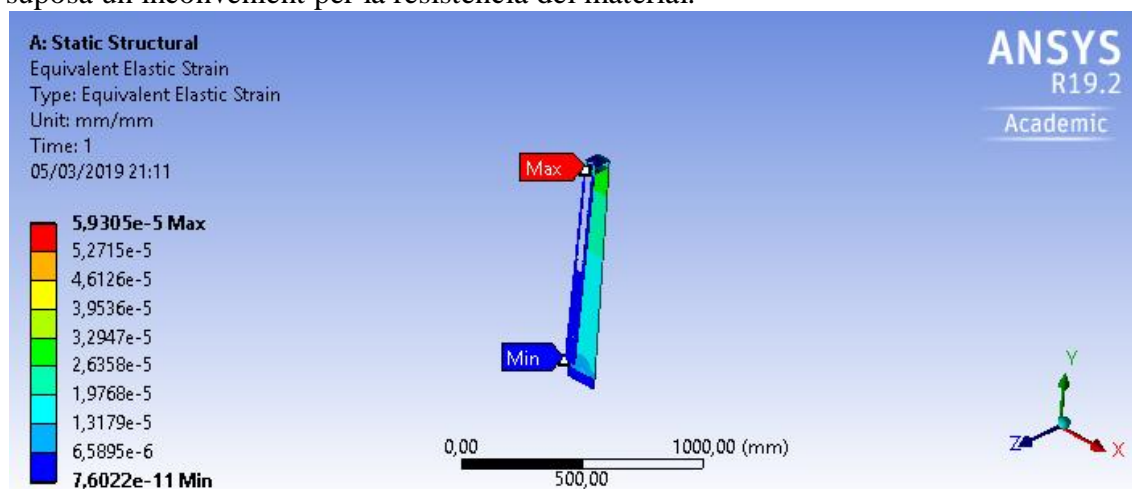


Figura 4.87.- Deformació unitària en Ansys del penjador. Imatge pròpia. 10/04/19

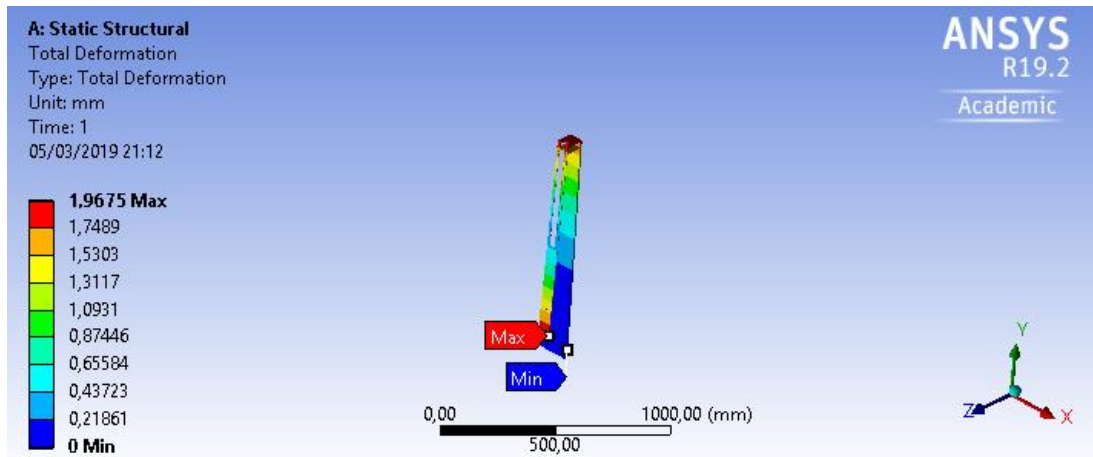


Figura 4.88.- Desplaçament de l'estructura simulada en Ansys. Imatge pròpia. 10/04/19

Els desplaçaments en aquest cas són notables, el màxim arriba a 2mm. Tot i així, a la zona on es troba connectada la part 3 existeix un desplaçament màxim de 0,8mm, és un valor alt però que degut a les toleràncies amb les que s'ha dissenyat pot ser admès. S'ha de tenir en compte però, que aquest és el cas més desfavorable i que no hauria d'arribar a ocórrer durant la vida útil de la màquina. No obstant, l'element es troba a la zona elàstica i per tant no generaria deformacions permanents, però pot ser un limitant a l'hora de situar peces de roba amb una massa considerable.

4.3.2.- Moviment de translació

En el present apartat, es determinaran els càlculs necessaris per seleccionar correctament el motor que permet moure linealment les estructures verticals que ejection vapor a la roba, els càlculs de vida del rodament seleccionat i la resistència de la xapa que connecta ambdues estructures verticals i que incorpora el pes del generador de vapor.

4.3.2.1.- Base de les estructures verticals

Primerament, es proposa calcular la resistència de la xapa que suporta les estructures verticals, el generador de vapor i el dipòsit d'aigua, ja que a partir d'aquest càlcul es trobaran els valors de les reaccions dels rodaments que serviran per els pròxims càlculs. Es tracta d'una xapa d'alumini de 2mm d'espessor amb plegats de 180° als extrems per aportar rigidesa al conjunt.

A continuació, es mostra l'esquema de forces del conjunt.

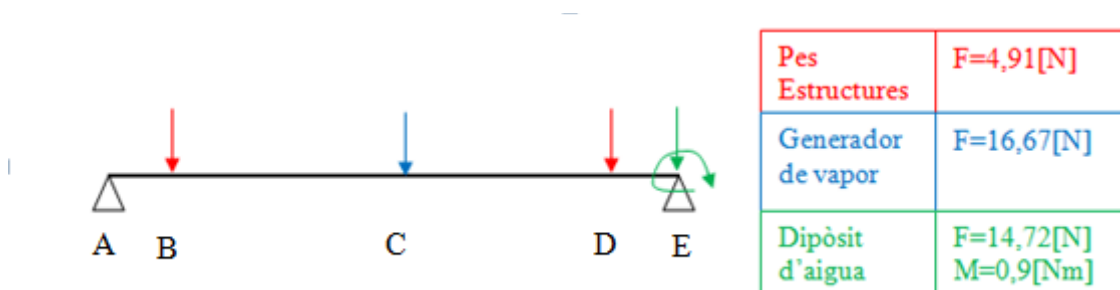


Figura 4.89.- Esquema de forces de la xapa base. Imatge pròpia. 11/04/19

Les forces i el moment puntual generat s'han obtingut a partir de la massa de cadascuna de les parts a partir del programa SolidWorks®, i a causa de que el dipòsit es troba en

una posició externa a la base, s'ha realitzat una equivalència del sistema. La distància d'A a B és la mateixa que de D a E (30mm), la distància de A a E és de 157mm i C es troba al mig de la xapa.

A continuació es calcularan les reaccions per poder graficar els diagrames d'esforços corresponents.

$$\sum M_E = 4,91 \cdot 0,127 + 16,67 \cdot 0,0785 + 4,91 \cdot 0,03 - 0,9 - R_A \cdot 0,157 = 0 \quad \text{Equació 4.134}$$

$$R_A = \frac{1,18}{0,157} = 7,51 \text{ j[N]} \quad \text{Equació 4.135}$$

$$\sum F_y = R_A - 2 \cdot 4,91 - 16,67 - 14,72 + R_E = 0 \quad \text{Equació 4.136}$$

$$R_E = 33,7 \text{ j[N]} \quad \text{Equació 4.137}$$

A continuació, es presenten els diagrames d'esforços d'aquest element.

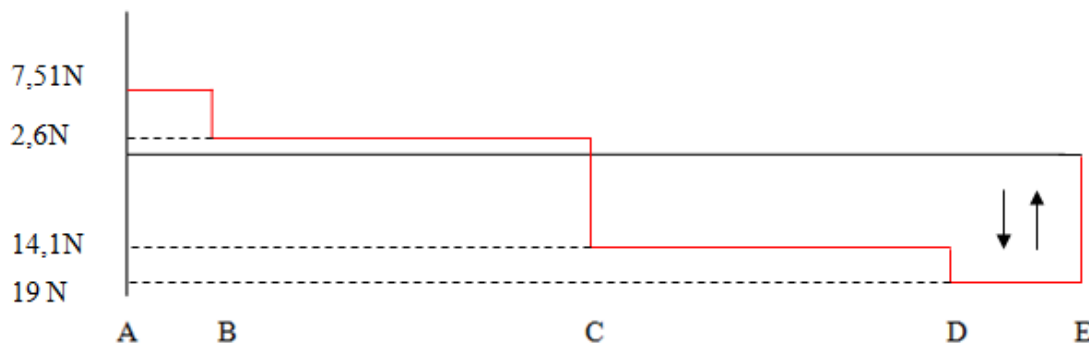


Figura 4.90.- Diagrama de tallants per l'element analitzat. Imatge pròpia.11/04/19

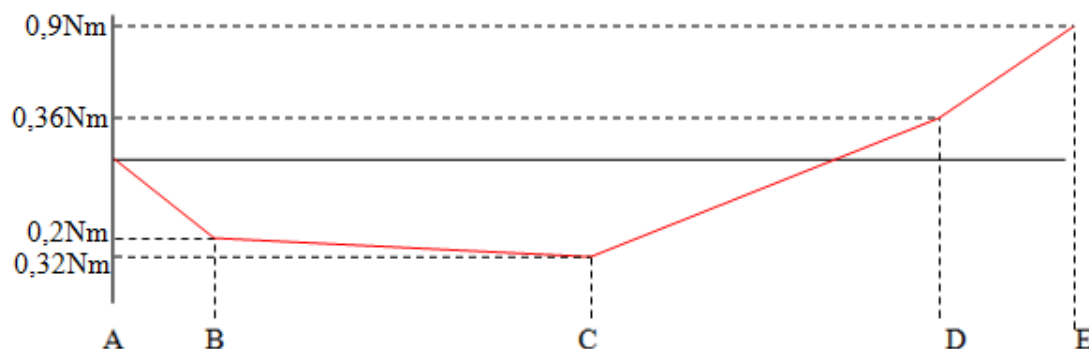


Figura 4.91.-Diagrama de flectors per l'element analitzat. Imatge pròpia.11/04/19

Arribats a aquest punt, cal seleccionar el punt crític, per una banda sembla lògic que el punt crític sigui E, ja que té el moment flector més elevat, però a aquesta zona l'espessor és de 4mm degut a la plegada, per contra al punt C el moment és menor, però l'espessor és de 2mm. Es calcularan les dues tensions a partir de l'equació de Navier-Bernoulli per tal de conèixer quin dels dos punts és més crític. Tot i que es tracta d'una

xapa, es realitzarà una aproximació suposant un perfil de base 20mm ja que és la zona mitjana on es recolzen els objectes i una alçada depenent de l'espessor.

$$\sigma = \frac{M \cdot v}{I_z} \quad \text{Equació 4.138}$$

$$\sigma_E = \frac{0,9 \cdot 0,002}{\frac{1}{12} \cdot 0,02 \cdot (0,004)^3} = 16,87 \cdot 10^6 [Pa] = 16,87 [MPa] \quad \text{Equació 4.139}$$

$$\sigma_C = 0,32 \cdot 0, \frac{001}{\frac{1}{12} \cdot 0,02 \cdot (0,002)^3} = 24 \cdot 10^6 [Pa] = 24 [MPa] \quad \text{Equació 4.140}$$

Per tant, el punt crític, és el punt C amb un valor de 24 MPa.

Mitjançant una simulació en Ansys®, es comprova que el resultat sigui correcte.

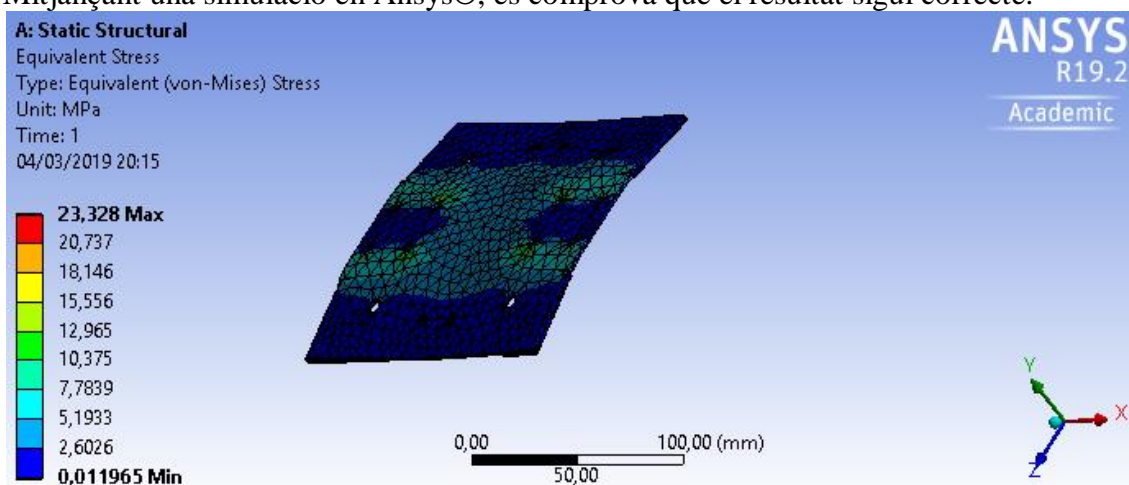


Figura 4.92.- Anàlisi de tensions amb Ansys. Imatge pròpia. 11/04/19

Com permet veure la imatge, les tensions es distribueixen des de la part central fins als extrems, com era d'esperar. A més el valor màxim és proper al calculat i per tant es pot donar per vàlid.

4.3.2.2.- Selecció del motor.

S'inicien els càlculs referents al moviment de translació seleccionant el motor adequat que permeti dur a terme la cinemàtica desitjada. Com s'ha vist a l'apartat de funcionament, el motor es troba connectat a una corretja dentada i a l'hora aquesta s'uneix a la base de les estructures mòbils.

Primerament es determinarà el mínim parell que ha de poder generar el motor i posteriorment s'especificarà la velocitat, obtenint així les característiques principals per poder realitzar una selecció objectiva.

Per poder entendre quin parell es requereix, primer és necessari entendre les forces que actuen.

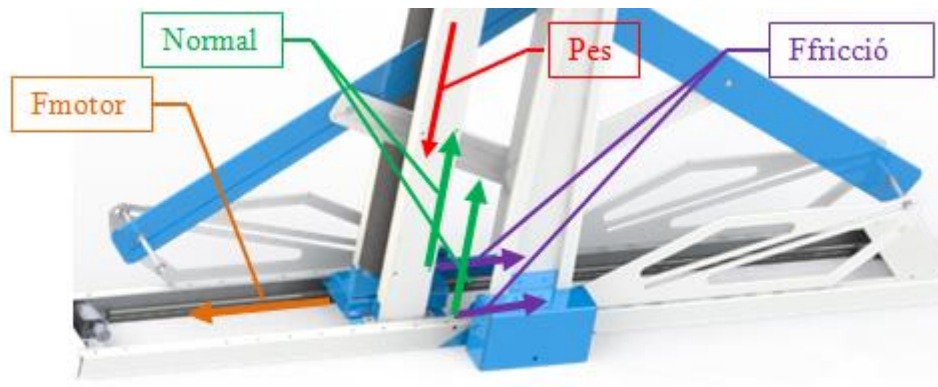


Figura 4.93.- Diagrama de cos lliure per seleccionar el motor. Imatge pròpia. 10/04/19

Degut a que no es desitja que existeixi cap acceleració, s'ha d'aplicar la primera llei de Newton, és a dir, l'equilibri en cada eix.

$$\sum_i F_x = 0 \rightarrow -F_{motor} + F_{fricció,A} + F_{fricció,B} = 0 \quad \text{Equació 4.141}$$

$$\sum_j F_y = 0 \rightarrow -P + N_A + N_B = 0 \quad \text{Equació 4.142}$$

El primer que cal conèixer és el pes que s'està suportant. Per trobar aquesta dada s'utilitza el software SolidWorks®, que mitjançant l'assignació del material de la peça permet obtenir la massa de l'element. La massa del conjunt de les estructures verticals i el pes de l'aigua del dipòsit sumen 4,2 kg.

En l'apartat anterior s'han calculat les reaccions dels rodaments i per tant s'utilitza aquest valor.

$$\begin{aligned} N_A &= 7,51 [N] \\ N_B &= 33,7 [N] \end{aligned} \quad \text{Equació 4.143}$$

Un cop trobada la força normal es pot procedir a calcular la força de fricció que respon a la següent equació.

$$F_{fricció} = \mu \cdot N \quad \text{Equació 4.144}$$

És a dir, la força de fricció és proporcional a la força normal a partir del coeficient de lliscament. Aquest valor fa referència a les rugositats entre superfícies i depèn de cada material i el tipus de fabricació d'aquest. En aquest cas, el contacte entre superfícies es realitza a partir de dos rodaments lineals oberts estancs de 12mm de diàmetre. La següent taula proporcionada per Bosch Rexroth® indica la força de fricció d'un rodament de tals característiques afectat per una força concreta.

Eje Ø d (mm)	cerrados y abiertos con retenes integrados		abiertos completamente estancos	
	Fuerza de arranque ¹⁾ (N) ca.	Fuerza de fricción ¹⁾ (N) ca.	Fuerza de arranque (N) ca.	Fuerza de fricción (N) ca.
10	1	0,5	–	–
12	1,5	0,8	6	3
16	2	1	9	4
20	3	1,5	10	5
25	4,5	2	14	6
30	6	2,5	18	8
40	8	3	24	10
50	10	4	30	12

1) Con retenes aparte se deberán multiplicar los valores por el factor 1,5.

Figura 4.94.- Força de fricció rodaments lineals oberts i estancs. Bosch Rexroth. Març 2007

Com mostra la taula, per un rodament de diàmetre 12mm, si s'aplica una força de 6N, la força de fricció correspon a 3 N, per tant el coeficient de fricció corresponent és de $\frac{1}{2}$.

$$\begin{aligned} F_{fricció,A} &= 0,5 \cdot 7,51 = 3,76 [N] \\ F_{fricció,B} &= 0,5 \cdot 33,7 = 16,85 [N] \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Equació} \\ 4.145 \end{array}$$

Directament es pot trobar la força que ha d'estirar la corretja.

$$F_{motor} = F_{fricció,A} + F_{fricció,B} = 20,61 N \quad \begin{array}{l} \text{Equació} \\ 4.146 \end{array}$$

Un cop determinada la força de la corretja, es pot aplicar la següent formula per determinar el parell.

$$M_{motor} = F_{motor} \cdot r \quad \begin{array}{l} \text{Equació} \\ 4.147 \end{array}$$

Resta calcular el radi de la politja per on passa la corretja.

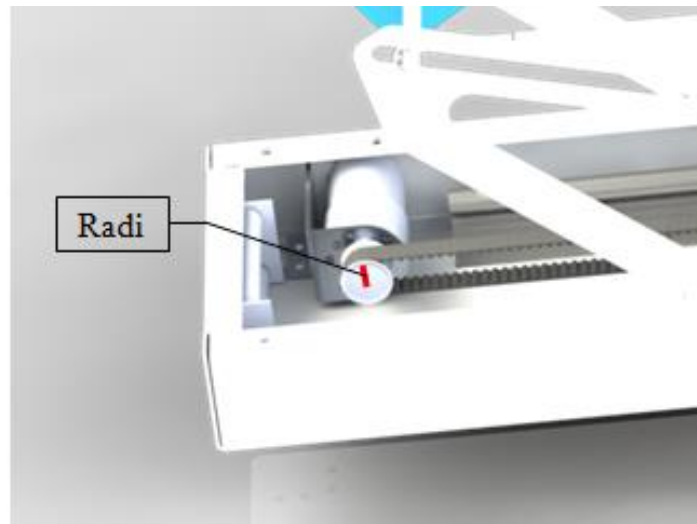


Figura 4.95.- Radi de la politja del motor. Imatge pròpia. 10/04/19

Degut a que la politja és normalitzada, aquesta distància també ho està i es pot treure de taules com la que es mostra a continuació.

Part Number			Pulley Shape	Shaft Bore Specifications	Shaft Bore Spec. (1mm Increment)																		P.D.	O.D.	D	F	E					
Type	Teeth	Type Nominal Width			H		P		N / C		HU		PU		NU		V / F				Y											
					dh7																							dh7		Zh7		J (1mm increment)		d		Qr / Rr		S / T
			AShape		BShape		AShape		BShape		AShape		BShape		AShape		BShape		AShape		BShape		AShape		AShape		AShape					
2017 Aluminum Alloy TPPA	12	T5100 *A :11 *W :16 *L :28	A	H	HU	P	5-8	-	5-8	-	8	-	C-D	-	C-D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.10	18.25	-	24	12		
	14						5-10	5-10	5-10	5-8	8,10	-	C-E	C-E	C-E	C-D	E	-	5,6	5,6	7,8	7,8	-	-	5,6	7,8	-	22.28	21.45	14	26	16
	15						5-10	5-10	5-10	5-8	8,10		C-E	C-E	C-E	C-D	E	-	5-8	5-8	7-10	7-10		5-8	7-10		23.87	23.05	15	28	18	
	16						6-12	6-12	6-12	6-10	8-12	8	C-E	C-E	C-E	C-E	E	-	6-10	6-10	8-12	8-12		6-10	8-12		25.46	24.60	17	32	20	
	18						6-14	6-14	6-12	6-11	8-12	8,10	C-F	C-F	C-E	C-E	E	E	6-12	6-12	8-14	8-14		6-12	8-14		28.65	27.80	19	33	22	
	20						6-16	6-15	6-16	6-12	8-16	8,10	C-G	C-F	C-G	C-E	E-G	E	6-14	6-13	8-16	8-15		6-14	8-16		31.83	31.00	19	36	24	
	22						7-19	7-19	7-18	7-15	8-18	8-12	D-G	D-G	D-G	D-F	E-G	E	7-17	7-17	9-19	9-19		7-17	9-19		35.01	34.25	24	40	27	

Figura 4.96.- Taula dimensions propies de politges T5. Misumi Company. 10/04/19

La politja seleccionada és la primera que apareix a la taula anterior i O.D es refereix al diàmetre de la politja per on passa la corretja, en aquest cas 18,25. Per tant r és la meitat d'aquest valor, 9,13mm.

$$M_{motor} = 20,61 \cdot 0,00913 = 0,19 [Nm] \quad \text{Equació 4.148}$$

Com s'ha especificat anteriorment pel motor del mecanisme d'obertura, es donarà el valor del parell en kg.cm, ja que són les unitats habituals dels fabricants, és a dir, **1,9kg.cm**.

És important no menystenir la diferència en les forces de fricció, degut a que no són de la mateixa magnitud es generarà una certa rotació, degut a que el rodament limita aquest gir, es produirà un contacte més elevat entre el rodament i l'eix i per tant existirà una reacció que augmentarà la fricció, és important tenir en compte aquest efecte per tal de seleccionar un motor amb un parell superior al calculat i evitar possibles errors de funcionament.

Seguidament, es procedeix a trobar la velocitat de rotació del motor, per tal de saber les revolucions per minut que ha d'efectuar, primer s'ha de determinar la distància que han de recórrer les estructures verticals.

Aquesta distància ha estat dissenyada d'acord a la màxima elongació d'una camisa en la posició desitjada i és de 1200mm. Un cop fixada la distància, si la velocitat del motor es desitja que sigui constant, únicament resta conèixer el temps destinat a recórrer els 1200mm. Aquest valor és una variable transcendental amb una influència notòria respecte la qualitat de planxat, però també en l'efectivitat del aparell, ja que si transcorre una gran quantitat de temps, l'usuari tindrà una certa sensació de falta de practicitat i d'utilitat a la màquina. Per contra, si el valor temporal és molt baix, és possible que el vapor no pugui penetrar òptimament en el teixit. S'ha optat per un temps de 10 segons, ja que degut a l'amplada de la malla que és de 120mm permet romandre pràcticament 1 segon a cada zona de la peça de roba.

A continuació es mostren les equacions que permeten obtenir les revolucions per minut del motor.

$$V_{corretja} = \frac{x}{t} = \frac{1,2}{10} = 0,12 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Equació 4.149}$$

$$\omega_{motor} = \frac{V_{corretja}}{r} = \frac{0,12}{0,00913} = 13,14 \left[\frac{rad}{s} \right] \quad \text{Equació 4.150}$$

$$13,14 \left[\frac{rad}{s} \right] \cdot \frac{1[rev]}{2\pi[rad]} \cdot \frac{60[s]}{1[min]} = 125,48 [rpm] \quad \text{Equació 4.151}$$

Degut a que 125,48 rpm no és un valor estàndard per un motor i és força complicat arribar a aquest valor amb el motor, s'ha optat per seleccionar un motor de 100 rpm i per tant el recorregut es realitza en 12,5 segons. És un temps proper a les màquines actuals de planxat automàtic i permet que el vapor penetri a les fibres del teixit de forma eficaç.

4.3.2.3.- Comprovació rodaments lineals

En el present apartat es tractarà de determinar la vida útil del rodament seleccionat a partir de la normativa DIN ISO 14728, que fa referència al càlcul dels rodaments lineals.

Al tractar-se de rodaments lineals la vida no es mesura en revolucions com és habitual, per contra es mesura en metres lineals recorreguts, que posteriorment es pot convertir en hores. A continuació la norma mostra la següent taula per tal de poder determinar aquests factors.

$L = \left(\frac{C}{F_m} \cdot f_H \cdot f_t \cdot f_s \right)^3 \cdot 10^5$ $L_h = \frac{L}{2 \cdot s \cdot n_s \cdot 60}$	<p>L = duración de vida nominal (m)</p> <p>L_h = duración de vida nominal (h)</p> <p>C = capacidad de carga dinámica (N)</p> <p>F_m = carga dinámica equivalente (N)</p> <p>f_H = factor de dureza para dureza de ejes -</p> <p>f_t = factor de temperatura -</p> <p>f_s = factor para carrera corta (sólo para rodamientos lineales Segmentarios, Compactos, eLINE y Super) -</p> <p>s = longitud de carrera (m)</p> <p>n_s = frecuencia de ciclo (1 ciclo = 2 carreras) (min⁻¹)</p>
--	---

Figura 4.97.- Norma DIN ISO 14728-2:2005 "Linear motion rolling bearings". 2005

De les equacions mostrades a la figura anterior, les úniques dades que es coneixen són les següents:

- F_m , ja que és la major força normal calculada en l'apartat anterior (33,7 N) aplicada radialment a l'eix.
- S , fa referència a la longitud que recorre en un cicle d'operació, en aquest cas és de 1,2 metres. Durant una operació de màquina recorre 2,4 metres, però o bé es situa el valor de 1,2 metres i "ns" és igual a 1 o bé es situa 2,4 metres i ns és $\frac{1}{2}$, com són resultats equivalents s'ha optat per 1,2 metres.
- F_s , en el cas present el valor d'aquest factor és 1, ja que els rodaments utilitzats no corresponen a cap de les categories mostrades.

A continuació, es determinarà el conjunt de dades necessaris per aplicar l'equació correctament.

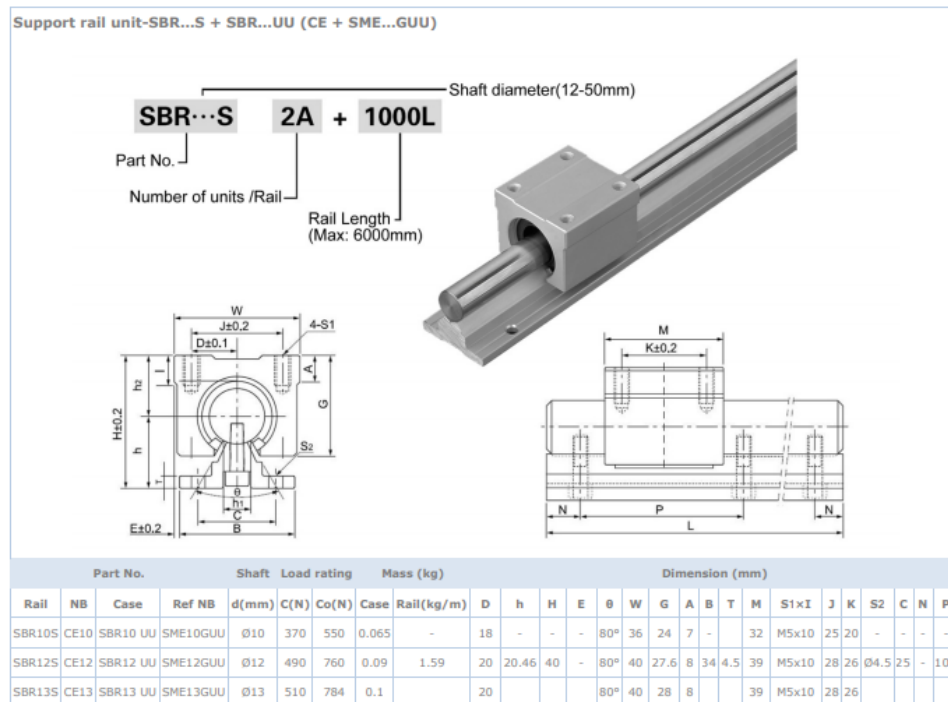


Figura 4.98.- Fitxa tècnica del rodament seleccionat SBR12 UU.Font:Cnc4u.2007

La figura 4.94 mostra la fitxa tècnica del rodament seleccionat, en el cas present, el rodament és SBR12UU que té una capacitat de carga dinàmica(C) de 490N.

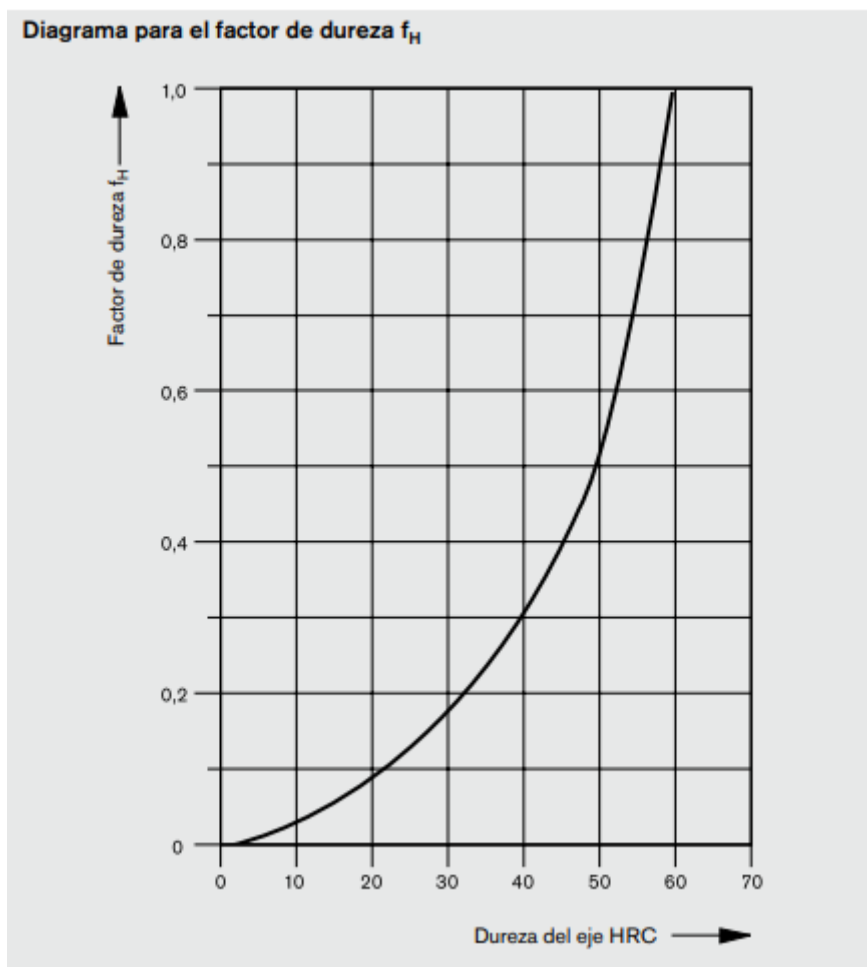


Figura 4.99.- Factor de duresa per l'eix. DIN ISO 14728 .2005

Per tal de calcular el factor de duresa, s'ha de determinar anteriorment la duresa Rockwell C de l'eix. Per determinar aquesta duresa, cal conèixer el material, que en aquest cas és un acer inoxidable de la sèrie 300(AISI 304).

Material Description	Stainless Steel DIN 1.4301
DIN Specifications	DIN 1.4301, DIN 2463, DIN 17451
Specifications Equity	AISI 304, UNS S30400

Composition % per weight

Element	%	Notes
C	Max 0.08	
Cr	18 – 20	
Ni	8 – 10.5	
Fe	66.345 – 74	
Mn	Max 2	
P	Max 0.045	
S	Max 0.03	
Si	Max 1	

Physical Properties

Description	Value	Notes
Density	8 gr/cm3	
Hardness	29 HRC	
Hardness (annealed)	82 HRB	1100 °C, Cool rapidly

Figura 4.100.- Fitxa tècnica acer AISI 304. G. Style S.A. 2010

La duresa d'aquest material és de 29 HRC, per tant el factor de duresa és de 0,17.

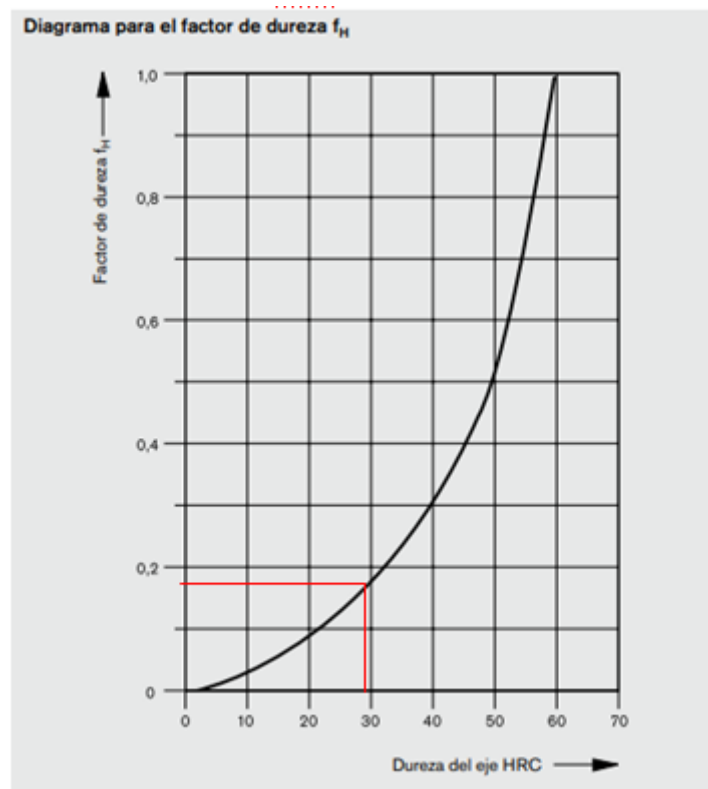


Figura 4.101.- Determinació del factor de duresa del material. Imatge pròpia. 11/04/19

Resta determinar el factor de temperatura, que mitjançant la taula que es mostra a continuació i coneixent la temperatura d'operació del rodament, que és d'uns 30°C es pot extreure el valor fàcilment.

Temperatura del rodamiento (°C)	100	125	150	175	200
Factor de temperatura f _t	1	0,92	0,85	0,77	0,70

Figura 4.102.- Factor de temperatura respecte la temperatura del rodament. DIN ISO 14728. 2005

Degut a que la temperatura del rodament és menor a 100°C, el valor del factor de temperatura és igual a 1.

$$L = \left(\frac{490}{33,7} \cdot 0,17 \cdot 1 \cdot 1 \right)^3 \cdot 10^5 = 1,51 \cdot 10^6 [m] \quad \text{Equació 4.152}$$

Si es passa el resultat a hores, es té el següent valor:

$$L_h = \frac{1,51 \cdot 10^6}{2 \cdot 1,2 \cdot 60} = 10.487 [h] \quad \text{Equació 4.153}$$

Per facilitar al lector, la comprensió d'aquest valor es proposa calcular la quantitat de peces de roba que es podran planxar fins que es produeixi una fallada dels rodaments.

$$10.487[h] \cdot \frac{3600[s]}{1[h]} \cdot \frac{1[\text{peça de roba}]}{12,5[s]} = 3 \cdot 10^6 [\text{peces de roba}] \quad \text{Equació 4.154}$$

Per tant, els rodaments no seran un dels principals problemes que pot patir la màquina, ja que suposant que una família pot arribar a planxar 50 peces de roba a la setmana,

haurien de transcórrer 60.000 setmanes abans de que els rodaments fallessin, és a dir, pràcticament 1154 anys. Com es pot veure, aquest valor és molt elevat, això no vol dir que la màquina pugui aguantar tant de temps sense patir cap problema, ja que probablement fallarà per altres zones, el que sí que es pot conèixer és que els rodaments no representaran un inconvenient, que necessiti manteniment constant.

4.3.3.- Anàlisi termodinàmic

Per finalitzar la secció de càlculs es proposa realitzar un estudi tèrmic i fluídric per tal de determinar les principals variables necessàries per dur a terme l'evaporació de l'aigua i permetre l'ejecció del vapor per les toveres. Seguint amb el procediment marcat fins a aquest punt s'ha optat per justificar els càlculs requerits i posteriorment simular el comportament de l'anàlisi mitjançant Comsol®, un software especialitzat en anàlisis que engloben el món de la mecànica de fluids, la termodinàmica i la transferència de calor.

El primer que cal conèixer és la quantitat de vapor que es vol entregar al teixit per unitat de temps, és a dir, el cabal màssic. Aquest valor té una influència cabdal en l'eficiència del planxat, per tant, degut al desconeixement que es té a priori sobre aquest valor, s'ha decidit investigar les principals marques de planxes per obtenir un valor òptim. La majoria de centres de planxat utilitzen entre 30 i 40 g/min d'aigua com a cabal màssic, degut a que la màquina consta de 8 canonades per on passa el vapor, s'ha optat per 30g/min per cadascuna d'elles, el que significa un cabal total de 240g/min. Que passats a unitats del sistema internacional, correspon a 0,004kg/s

Un cop conegut aquest valor, la bomba ha quedat seleccionada i ja es pot procedir a realitzar els càlculs corresponents sobre la potència requerida.

La següent equació permet calcular la potència calorífica necessària per augmentar la temperatura del fluid, sense arribar a evaporar.

$$\dot{Q}_{calorífica} = \dot{m}_{aigua} \cdot c_{p,aigua} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 4.155}$$

La fórmula anterior, precisa del coneixement del calor específic del fluid i del increment de temperatura que es vol dur a terme.

El calor específic d'un material és la quantitat d'energia que necessita adquirir un kg de massa per augmentar un grau la pròpia temperatura, aquest valor depèn de la temperatura del fluid, habitualment a majors valors de temperatura es requereix un augment de l'energia captada pel material. Tot i així, és força comú realitzar els càlculs amb un valor promig, ja que les diferències no acostumen a ser massa elevades.

Pel cas de l'aigua, el calor específic és de 4,18 [kJ/kg·K]²³.

D'altra banda, es vol elevar la temperatura fins a 100°C, per tal que s'iniciï el procés de canvi d'estat, suposant inicialment que l'aigua es troba a 20°C, l'increment que s'ha de portar a terme és de 80°C.

$$\dot{Q}_{calorífica,1} = 0,004 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot 4,18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \cdot (100 - 20)[K] = 1,3376[kW] = 1337,60[W] \quad \text{Equació 4.156}$$

Aportant aquesta potència es pot arribar a escalfar l'aigua fins a 100°C però continua en estat líquid, per tractar de trencar els enllaços de les molècules d'aigua que permetin evaporar la substància s'ha d'aplicar una quantitat d'energia superior, és a dir, el calor latent, que es defineix com la quantitat d'energia aportada a una substància que no modifica la temperatura però permet canviar d'estat el material.

Per calcular aquest valor es precisa d'una variable coneguda com entalpia de vaporització, que no és més que la diferència entre l'entalpia de l'aigua a 100°C en estat líquid i en estat gasós. Aquest valor també es troba tabulat i té un valor de 2257[kJ/kg]²³.

La potència necessària per realitzar el canvi d'estat es pot expressar a partir de la següent equació.

$$\dot{Q}_{calorífica,2} = \dot{m}_{aigua} \cdot h_{vaporització} \quad \text{Equació 4.157}$$

$$\dot{Q}_{calorífica,2} = 0,004 \cdot 2257 = 9,03[kW] = 9030[W] \quad \text{Equació 4.158}$$

La potència total requerida és la suma de les dues potències.

$$\dot{Q}_{calorífica,Total} = \dot{Q}_{calorífica,1} + \dot{Q}_{calorífica,2} = 1337,60 + 9030 = 10367,6[W] \quad \text{Equació 4.159}$$

Tot i així, aquests càlculs fan referència a evaporar aigua a una pressió de 1 atm, i tan sols a 100°C. En el cas present, la bomba de diafragma aporta pressió al sistema, específicament 60kPa, és a dir, en condicions normals hi haurà 1,6 bar aproximadament actuant al sistema, la modificació d'aquesta propietat fa variar els càlculs, ja que la temperatura d'evaporació serà major, a més per millorar l'eficiència, es recomanen valors superiors a 100°C de vapor.

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (Liquid-Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00

Figura 4.103.- Propietats de l'aigua saturada. Taula pressió. "Fundamentos de termodinámica". Moran-Shapiro. 5a Edició. 2006

A la figura anterior es pot veure que la temperatura d'evaporació de l'aigua a 1,5 bar és de 111,4°C i que per 2 bar, la temperatura és de 120,2°C, per tant mitjançant una interpolació lineal, per 1,6 bar la temperatura serà de 113,16°C i el vapor de entalpia de líquid saturat serà de 474,87 kJ/kg.

	$p = 1.5 \text{ bar} = 0.15 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 111.37^\circ\text{C}$)				$p = 3.0 \text{ bar} = 0.30 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 133.55^\circ\text{C}$)			
Sat.	1.159	2519.7	2693.6	7.2233	0.606	2543.6	2725.3	6.9919
120	1.188	2533.3	2711.4	7.2693				
160	1.317	2595.2	2792.8	7.4665	0.651	2587.1	2782.3	7.1276
200	1.444	2656.2	2872.9	7.6433	0.716	2650.7	2865.5	7.3115
240	1.570	2717.2	2952.7	7.8052	0.781	2713.1	2947.3	7.4774
280	1.695	2778.6	3032.8	7.9555	0.844	2775.4	3028.6	7.6299

Figura 4.104.- Propietats de vapor sobreescalfat. Taula pressió. "Fundamentos de termodinámica". Moran-Shapiro. 5a Edició. 2006

Per conèixer el valor de l'entalpia del vapor sobreescalfat (penúltima columna), es decideix utilitzar una temperatura de 160°C i s'interpol·la entre 1,5 i 3 bars per trobar el valor a 1,6 bar, que és de $2792,1 \text{ kJ/kg}$. Mitjançant aquests valors, es pot precisar de forma més exacte el valor de potència requerit.

$$\dot{Q}_{\text{calorífica}} = \dot{m}_{\text{aigua}} \cdot C_{p,\text{aigua}} \cdot \Delta T \quad \text{Equació 4.160}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{calorífica},1} &= 0,004 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot 4,18 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \cdot (113,16 - 20) [\text{K}] = 1,5576 [\text{kW}] \\ &= 1557,60 [\text{W}] \end{aligned} \quad \text{Equació 4.161}$$

$$\dot{Q}_{\text{calorífica},2} = \dot{m}_{\text{aigua}} \cdot (h_{160^\circ\text{C}} - h_f) \quad \text{Equació 4.162}$$

$$\dot{Q}_{\text{calorífica},2} = 0,004 \cdot (2792,1 - 474,87) = 9,27 [\text{kW}] = 9270 [\text{W}] \quad \text{Equació 4.163}$$

$$\dot{Q}_{\text{calorífica},\text{Total}} = \dot{Q}_{\text{calorífica},1} + \dot{Q}_{\text{calorífica},2} = 1557,60 + 9270 = 10827,6 [\text{W}] \quad \text{Equació 4.164}$$

Un cop obtingut el següent valor, cal adonar-se que aquesta potència és força elevada per pràcticament tots els usuaris de la xarxa elèctrica, ja que habitualment no es tenen contractats valors tant alts de potència i per tant, el diferencial de l'habitatge no ho podria suportar. Arribats a aquest punt, s'ha d'idear un sistema que no requereixi de tanta potència. Per fer-ho, s'utilitza d'inspiració els bescanviadors de calor a temperatura constant.

Per tal de calcular a quina temperatura s'ha de mantenir el coure per tal que l'aigua rebi la potència calculada, es determinarà a partir d'un anàlisi de resistències tèrmiques. D'una banda, es troba la conducció del coure a l'aigua i per l'altre es troba la convecció de l'aigua.

$$R_{\text{Tot}} = R_{\text{paret}} + R_{\text{aigua}} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k \cdot L} + \frac{1}{h \cdot \pi D_i \cdot L} \quad \text{Equació 4.165}$$

El valor de conductivitat tèrmica del coure (k) es pot extreure del llibre de Yunus Çengel²³ i té un valor de $383 \text{ W/K} \cdot \text{m}$.

El diàmetre interior (D_i) és de 4 mm , la longitud (L) és de 1350 mm i el diàmetre exterior (D_o) és de 5 mm .

Per tant, simplement resta calcular el valor del coeficient de convecció (h) que es pot obtenir a partir del número de Reynolds.

$$Re = \frac{V \cdot Di}{\nu}$$

Equació
4.166

La viscositat (ν) de l'aigua és aproximadament $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a la temperatura mitja i s'utilitza aquest valor per realitzar els càlculs, tot i que la viscositat variï amb la temperatura, per tal de simplificar les equacions es determina aquest valor promig. La densitat de l'aigua destil·lada es de 1000 kg/m^3 .

$$Re = \frac{\left(\frac{\dot{m}}{\rho \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Di^2} \right) \cdot Di}{\nu} = \frac{\frac{0,004}{1000 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,004^2} \cdot 0,004}{0,6 \cdot 10^{-6}} = 2122$$

Equació
4.167

A causa de que el Reynolds es menor a 2300, es tracta d'un cas laminar

Per trobar el Nusselt, s'utilitza l'equació de Colburn modificada a casos laminars i amb grans salts de temperatura entre el fluid i la paret.

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,24} \left(\frac{\nu_l}{\nu_w} \right)$$

Equació
4.168

La viscositat (ν_l) es refereix a la viscositat del fluid a la temperatura d'entrada, és a dir, 20°C , aquesta viscositat és de $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, per contra " ν_w ", es refereix a la viscositat del fluid a la temperatura de la paret, aquesta és desconeguda, però es pot suposar inicialment uns 150°C , que és de $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. D'altra banda, s'ha de calcular el número de Prandtl (Pr), que es regeix per la següent equació.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{0,6 \cdot 10^{-6}}{0,151 \cdot 10^{-6}} = 3,97$$

Equació
4.169

Per tant el valor del Nusselt és el següent:

$$Nu = 0,023 \cdot 2122^{0,8} \cdot 3,97^{0,24} \left(\frac{1 \cdot 10^{-6}}{0,3 \cdot 10^{-6}} \right) = 31,78$$

Equació
4.170

El valor de la conductivitat de l'aigua destil·lada, també es pot extreure dels annexos del llibre de Çengel i té un valor promig de $0,6 \text{ W/K}\cdot\text{m}$.

$$h = \frac{0,6 \cdot 31,78}{0,004} = 4767,03 \left[\frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \right]$$

Equació
4.171

Calculant la resistència total.

$$R_{Tot} = \frac{\ln\left(\frac{5}{4}\right)}{2\pi \cdot 383 \cdot 1,3} + \frac{1}{4767,03 \cdot \pi \cdot 0,004 \cdot 1,3} = 0,013 \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Equació
4.172

A partir de la següent equació es pot calcular a quina temperatura s'ha de mantenir el coure per aportar els 10827 W .

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \rightarrow \Delta T = \dot{Q} \cdot R = 10827 \cdot 0,013 = 139,8^\circ\text{C}$$

Equació
4.173

És a dir, si existeix un salt tèrmic de 140°C es cediran els 10827 W . A continuació, es calcula la quantitat d'energia requerida per tal d'assolir aquest salt de temperatura al coure.

$$Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

Equació
4.174

La massa del bescanviador, és de 0,9kg i el calor específic del coure és de 390 J/kgK^{23} .

$$Q = 0,9 \cdot 390 \cdot 140 = 49140 \text{ J}$$

Equació
4.175

La resistència de forn a utilitzar cedeix una potència calorífica de 2500W, per tant, en 20 segons aproximadament s'haurà assolit la temperatura desitjada. El funcionament per tant, haurà d'iniciar-se sense aigua i un cop s'assoleixi la temperatura desitjada, permetre el pas d'aigua mantenint la resistència connectada.

Per verificar els càlculs, s'ha realitzat una simulació mitjançant Comsol®, es tracta d'un software que permet realitzar càlculs mitjançant mètodes numèrics de forma molt eficaç en aspectes que involucren la transferència de calor, la termodinàmica i la mecànica de fluids.

La simulació s'ha simplificat de forma que el bescanviador és un tub llarg evitant certs problemes al introduir una geometria molt complexa, d'aquesta forma s'ha pogut realitzar la simulació com un cas axisimètric, és a dir, amb un eix de simetria.

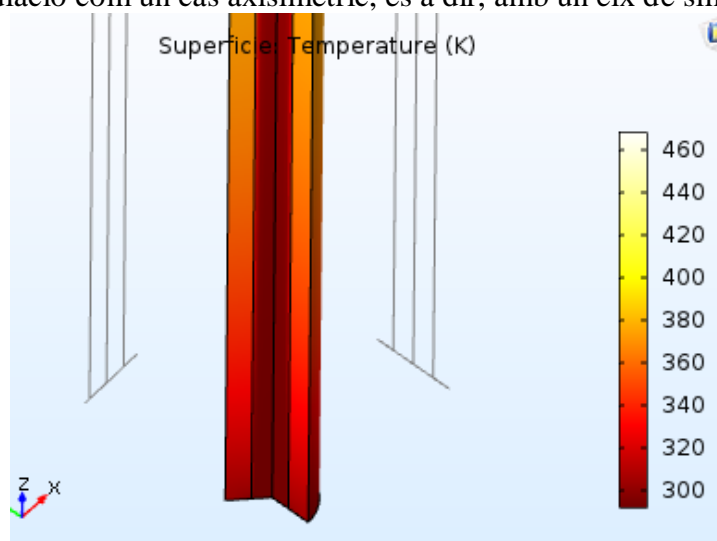


Figura 4.105.- Simulació computacional del bescanviador en Comsol part inicial. Imatge pròpia.
15/04/19

La figura anterior mostra l'inici del bescanviador, com es pot observar, la temperatura inicial de l'aigua és de 273K, que representen 20°C.

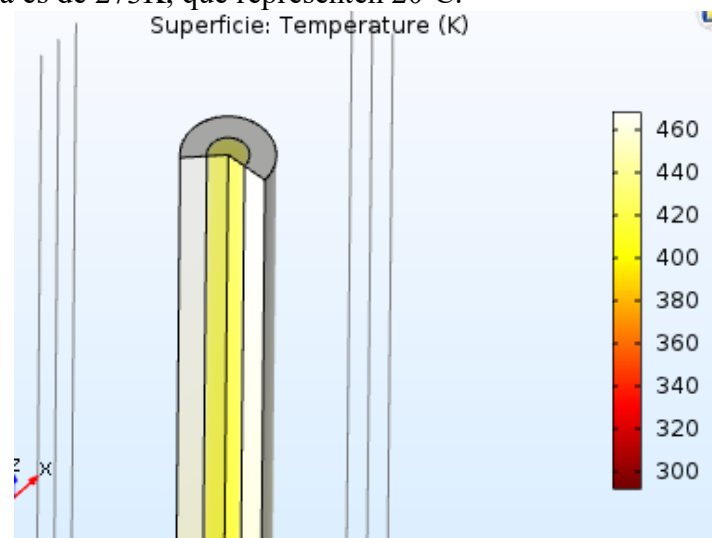


Figura 4.106.- Simulació computacional del bescanviador en Comsol part final. Imatge pròpia.
15/04/19

A la part final del bescanviador el fluid surt a 430 Kelvin , que representen els 160°C de vapor calculats anteriorment. A la part central del bescanviador es produeix el canvi d'estat i durant un tram llarg, la temperatura es manté constant degut al canvi com s'il·lustra a la figura següent.

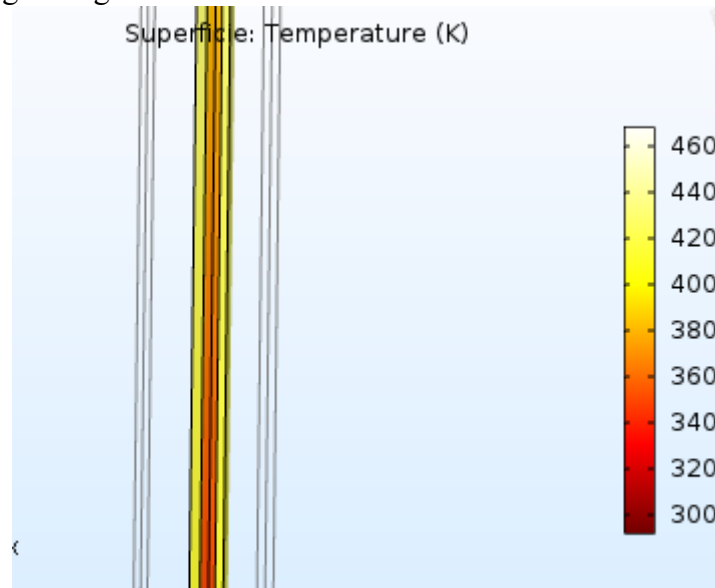


Figura 4.107.- Simulació del bescanviador, canvi d'estat. Comsol. Imatge pròpia. 15/04/19

A continuació, es mostra un gràfic de temperatura – distància realitzat pel software, on es pot observar més detalladament, com varia la temperatura en el bescanviador.

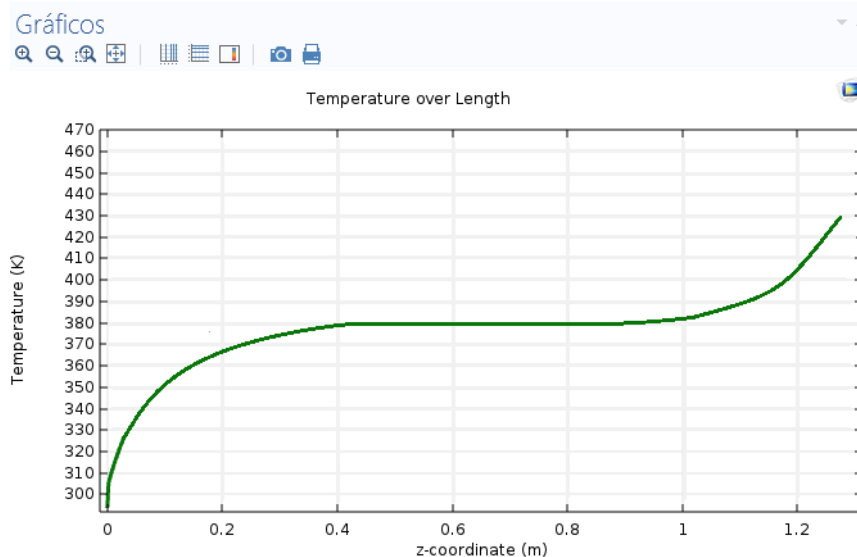


Figura 4.108.- Gràfic Temperatura-distància realitzat en Comsol. Imatge pròpia. 15/04/19

4.4.- Selecció de materials i fabricació

En el present apartat s'abordarà la justificació dels materials utilitzats i la fabricació d'aquests, tractant de mantenir una metodologia que permeti economitzar l'aparell, reduir la contaminació i accelerar el procés de muntatge.

El material que s'ha optat per utilitzar a la majoria d'element de la màquina és l'alumini 5083-O, també anomenat "duralumini", es tracta d'un aliatge metàl·lic compost per silici, ferro, coure, manganès, magnesi, crom, zinc i titani. A la següent figura es mostra el percentatge e composició química de cadascuna de les parts.

-5083- (ALUMINIO-MAGNESIO 4,5%)										
COMPOSICIÓN QUÍMICA										
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo				0,40	4,00	0,05			Zi + Total	
Máximo	0,40	0,40	0,10	1,00	4,90	0,25	0,25	0,15	Ti 0,15	El resto

Figura 4.109.- Composició química de l'alumini 5083. Alacermas.16/04/19

A la indústria, l'alumini utilitzat es sotmet a diferents tractaments tèrmics que permeten modificar les propietats físiques d'aquest, com ara recuits o recristallitzats (O,T2), trempats i envellits (T4,T6) o enduriments per deformació (H12,H14, etc.), mitjançant aquests processos s'assoleix un material amb resistències i dureses comparables a certs acers, però amb l'avantatge de que la densitat d'aquest material és un terç més baix²⁴.

Degut a l'observació realitzada de les patents d'aparells automàtics per al planxat de roba, s'ha determinat que un dels inconvenients que la majoria presentava era l'excessiu pes dificultant l'emmagatzematge i el posicionament per part de l'usuari, per tal d'evitar aquesta desavantatge s'ha optat per utilitzar un material amb baixa densitat com l'alumini.

Es podria arribar a pensar que si la selecció s'ha dut a terme per qüestions de pes, existeixen altres materials com ara el plàstic que tenen densitats molt menors a l'alumini, però les propietats mecàniques no s'ajusten als càlculs realitzats. Com el lector ha pogut visualitzar a l'apartat de càlculs, es requereix en certes zones d'un material amb un límit elàstic (màxima tensió a la zona elàstica) proper als 100MPa i tot i que existeixen polímers amb aquests valors de resistència, escassegen i són costosos.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)							
Estado	Características a la tracción				Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza	
	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2, N/mm ²	Alargamiento A 5,65%	Límite a la fatiga N/mm ²		Brinell (HB)	Vickers
O/H111	300	145	23	250	175	70	
HX2	330	240	17	280	185	90	
HX4	360	275	16	280	200	100	
HX6	380	305	10		210	105	
HX8	400	335	9		220	110	
Hx9	420	370	5		230	115	

Figura 4.110.- Propietats mecàniques de l'alumini. Alacermas. 16/04/19

Les aplicacions típiques d'aquest alumini s'engloben en camps d'aeronàutica, automobilística o en ambients agressius, com ara altes temperatures, com és el cas del vapor, ja que existeix poca variació de les seves propietats com il·lustra la figura següent.

-5083- (ALUMINIO - MAGNESIO 4,5%)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN A DIFERENTES TEMPERATURAS

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	405	165	36	295	145	30	290	145	27	290	145	25	275	145	36

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	215	130	50	150	115	60	115	75	80	75	50	110	41	29	130

Figura 4.111.- Variació de les propietats mecàniques de l'alumini 5083-O en front de la temperatura. Alacermas.16/04/19

Un cop justificada la selecció de l'alumini 5083, cal comentar perquè s'ha optat per aplicar únicament un recuit, si és el que té les propietats mecàniques més desfavorables de la figura anterior. Per respondre a aquesta qüestió cal introduir la fabricació de les peces.

Per tal d'evitar problemàtiques respecte al mètode de fabricació utilitzats, la màquina s'ha tractat de dissenyar en gran part a partir de xapa metàl·lica que pugui ser tallada a làser mitjançant un arxiu CAD, i posteriorment realitzar plegats.

Aquesta metodologia restringeix les possibles diferències entre disseny i peça real, ja que no involucra pràcticament el factor humà. D'altra banda, resulta ser un dels processos més econòmics, ja que tot i que l'hora de tall làser pugui resultar costosa, s'ha de tenir en compte que permet fabricar una quantitat innumerable de peces. L'hora de plegat és més econòmica que l'hora de tall làser, però és cert que el temps destinat per element augmenta, per tant, si es dissenyen angles habitualment utilitzats, com ara (90°, 60°, 45°), es reduirà el temps de l'operari.

El plegat de xapes, és més complex quant més rígida sigui el material, perquè un cop realitzada la plegada, o bé es possible que el fracturi o bé que degut a l'elasticitat present no s'assoleixi l'angle desitjat. És per això que s'ha optat per aplicar un recuit (O), ja que aquest tractament tèrmic redueix les propietats mecàniques que seran posteriorment augmentades mitjançant la deformació en fred que produeix el plegat.

Tot i que l'alumini és el material més utilitzat a l'aparell, també es disposa d'altres metalls com ara el coure per el sistema tèrmic, ja que consta d'un dels majors coeficients de conductivitat tèrmica, és fàcilment mal·leable permetent així realitzar corbes per al bescanviador i a més és molt utilitzat a la indústria facilitant així l'adquisició dels elements hidràulics necessaris.

D'altra banda, s'utilitza acer inoxidable a la zona de les guies, a conseqüència de que l'alumini té un inconvenient principal, que és el procés de soldadura. És important que existeixi la mínima quantitat d'imperficcions a la guia per tal que el moviment de translació sigui homogeni i no generi inestabilitats. L'acer és un material de bona soldabilitat i a més al ser inoxidable es protegeix de la corrosió.

També és utilitzat l'acer a les juntes del mecanisme o a les frontisses degut a que té un límit elàstic molt elevat i una resistència a fatiga òptima, aquests elements seran mecanitzats mitjançant un torn que crearà un canal per situar els anells elàstics evitant així el desplaçament de les peces.

Els materials polimèrics, també són presents a l'aparell, per exemple, a la corretja, la banda que evita l'acumulació de gotes d'aigua degudes a la condensació del vapor a la part inferior del aparell i principalment com a aïllants. En el generador de vapor, s'utilitza una espuma polimèrica per tractar de mantenir el sistema de la forma més adiabàtica possible i evitar els pas de corrent elèctrica a altres parts de la màquina, a la zona on es troba la font d'alimentació també s'utilitza un aïllant elèctric, però es deixa el pas d'aire per millorar la refrigeració del dispositiu. El plàstic també és utilitzat com a contrapunt del vis sens fi, ja que pot ser fàcilment fabricat mitjançant impressió 3D i permet reduir tant el soroll com la fricció generades pel contacte entre materials.

4.5.- Connexions elèctriques i programació

A continuació ,es presentaran els components elèctrics i electrònics que doten de moviment al conjunt d'elements i permeten controlar el comportament de la màquina, es mostrarà també la connexió elèctrica i la programació realitzada mitjançant un microcontrolador.

Mitjançant l'anàlisi cinemàtic i dinàmic dels sistemes en moviment(obertura i translació) s'ha pogut seleccionar les característiques principals dels motors requerits, però no s'ha determinat el voltatge a utilitzar ni el control, aquests aspectes es comentaran en el present apartat, juntament amb la bomba utilitzada, la resistència del generador de vapor i els sensors.

El motor requerit pel funcionament del mecanisme d'obertura, havia de tenir una velocitat angular de 1000 rpm i 1,35 kg·cm de parell motor, a més, havia de poder reduir la velocitat sense disminuir el moment i ocupar el mínim espai possible. Degut als requeriments anteriors, s'ha optat per seleccionar un motor de corrent contínua(DC) que mitjançant un circuit integrat es pot controlar de forma eficaç el sentit de rotació i la velocitat angular sense sacrificar el parell motor. S'ha de tenir en compte que la potència del motor ideal és el producte entre la velocitat angular i el parell en unitats del sistema internacional, per tant un motor de tals característiques tindrà una potència superior a 14 W, a partir d'aquest valor es pot determinar un voltatge que eviti corrents molt elevades que puguin crear efecte Joule. A més, s'ha de tenir en compte que s'utilitzarà una font d'alimentació on es connectaran tots els motors i sistemes i per tant no es pot decidir un voltatge diferent per cada cas. A causa del aspecte anterior s'ha optat per un voltatge de 12V. Les especificacions del motor es mostren als annexos(Motor ChiHai CHR-GM25-370K), no obstant, la velocitat del motor és de 980 rpm, el parell és de 2,3 kg·cm i es pot arribar a un parell de 5kg·cm segons els requeriments, la potència consumida pel motor és de 17 W, podent arribar fins els 26 W en casos en els que es requereixi un parell molt elevat.

Pel que fa al motor de translació, els càlculs determinen que és necessari un motor de 100 rpm i 1,9 kg·cm, la mínima potència per tant serà de 2W, s'utilitzarà un motor DC, per facilitar en el control de la rotació i espai reduït, el voltatge serà també de 12 volts de forma que no serà necessari utilitzar un transformador diferent. Les especificacions del motor es troben als annexos(Motor FIT0492-B), tot i així, el motor té un velocitat de 100 rpm i un parell de 7kg·cm en càrrega, consumint una potència mitjana de 5W.

La bomba seleccionada, ha de poder aportar un cabal fix constant de 240 ml/min, a més ha de bloquejar el pas de fluid en condicions de no operació. És per això que s'ha optat per una bomba de desplaçament positiu de diafragma. De nou, la bomba funciona amb corrent contínua a 12 volts. Les especificacions de la bomba es troben als annexos (Bomba 00H220H012), tot i així, la potència consumida en la màxima operació és de 3 W i pot arribar a proporcionar fins a 100kPa.

D'altra banda, la resistència elèctrica utilitzada per aportar energia calorífica al sistema generador de vapor, requereix d'una potència força elevada per tal d'accelerar el procés d'ebullició de l'aigua, en aquest cas la resistència va connectada directament a 220 V passant per un mòdul relé i en corrent alterna, la potència que dissipa en forma de calor és de 2500 W i és important que sigui mal·leable per tal de poder corbar-la tal com s'ha dissenyat. Als annexos es mostren les especificacions bàsiques.

Pel que fa als sensors, s'ha utilitzat un sensor de temperatura per controlar que la superfície del bescanviador de calor es mantingui en un rang controlat, aquest sensor es tracta d'un termistor PT100 que permet registrar temperatures fins 400°C.

D'altra banda, pel que fa al control del dipòsit, inicialment es va optar per situar un sensor de nivell d'aigua per evitar que l'aparell es posés en funcionament sense aigua al seu interior, però degut a que es tracta d'aigua destil·lada no condueix l'electricitat i per tant, aquesta tipologia de sensors no funcionen correctament, per tractar de solucionar aquest problema, es va optar per un sensor de pressió, que a partir del pes que rep determina si hi ha suficient quantitat d'aigua.

Per tal de determinar que s'ha arribat a una posició, per exemple, en el mecanisme d'obertura o el de translació, s'utilitzen finals de carrera o microruptors.

Per facilitar a l'usuari les instruccions a seguir i assegurar-se de que ha situat la roba o l'ha extret, es disposa d'una pantalla de cristall líquid (LCD) que mitjançant uns botons permet la comunicació entre la màquina i l'usuari. D'aquesta forma, es pot alertar de que falta aigua o bé de si vol tancar la màquina o pel contrari planxar una nova peça de roba.

Per tal de poder controlar els sensors, els moviments a realitzar i la comunicació amb l'exterior s'utilitza un microcontrolador, pel cas del prototip s'ha utilitzat un Arduino MEGA 2560, que pot ser alimentat a 12V. El codi de programació creat es mostrarà als annexes.

Un cop determinats tots els elements principals i les potències de cadascun es pot seleccionar la font d'alimentació òptima per satisfer les necessitats dels diferents components, la potència total requerida a excepció de la resistència elèctrica que no es connecta al transformador és aproximadament 40 W, per tant s'ha optat per utilitzar la font S-60-12 que permet passar de 220 volts de corrent alterna a 12 volts de corrent contínua i 5A podent subministrar 60W. Les especificacions de la font d'alimentació es poden consultar als annexos.

A continuació, es proposa mostrar la connexió elèctrica per tal d'explicar el funcionament de cadascuna de les parts. Degut a que hi ha una gran quantitat d'elements s'ha optat per dividir els esquemes elèctrics en dos. Per una banda s'explicarà breument el control del motor pel moviment de translació de les estructures

verticals i el sistema tèrmica i per l'altre es comentarà el mecanisme d'obertura i el control de la bomba.

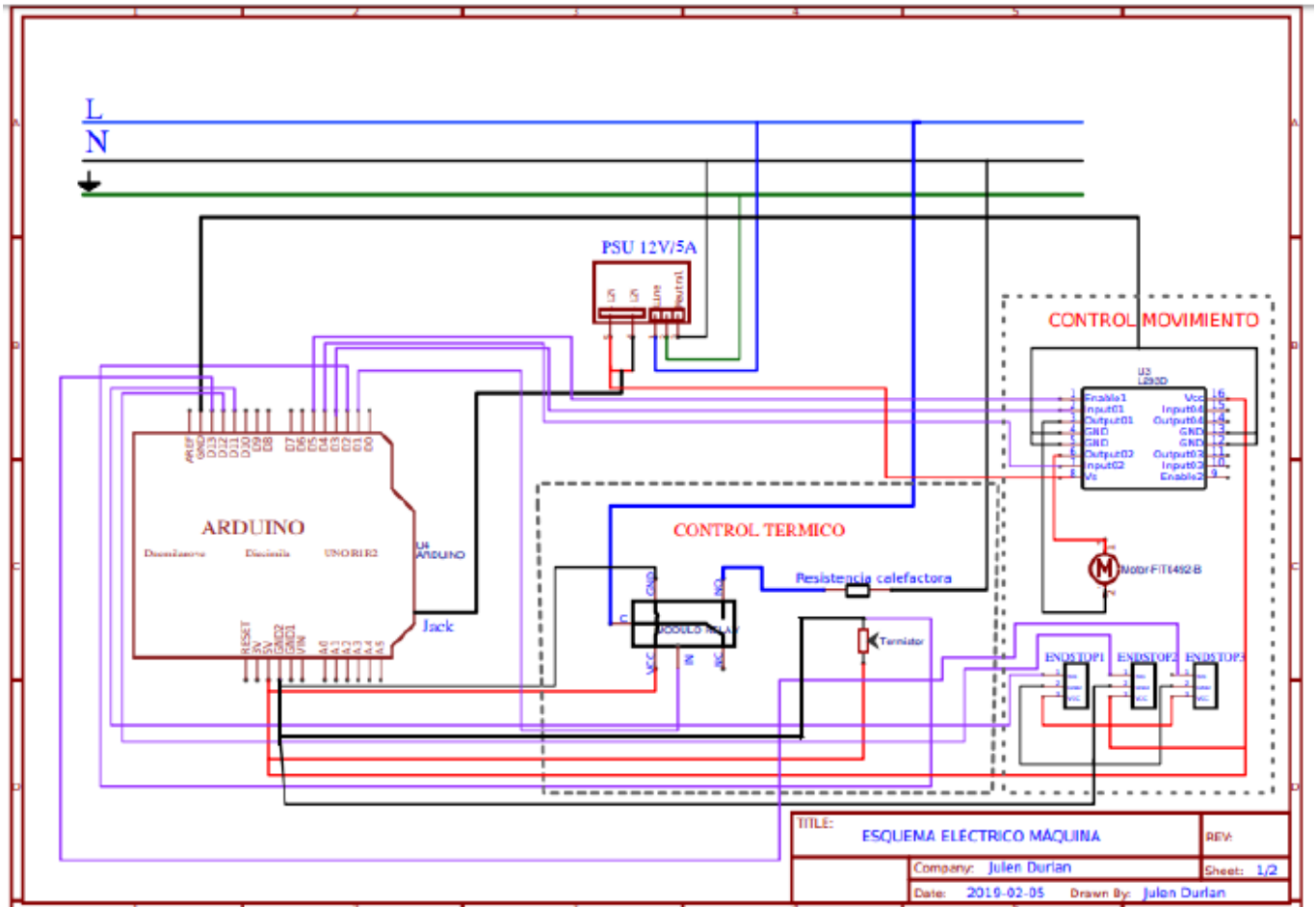


Figura 4.112.-Esquema elèctric del moviment de translació i el control tèrmic. Imatge pròpia.
16/04/19

En la figura anterior es mostra el primer esquema elèctric realitzat, en aquest cas es controla el motor que permet que les estructures verticals de planxat es moguin paral·lelament a la peça de roba i el control tèrmic.

Inicialment es connecta la font d'alimentació (PSU 12V/5A) a fase (L), neutre (N) i terra i a partir dels pins restants que proporcionen els 12 V i 5A es realitzen les connexions dels diferents elements que requereixen d'aquesta. El motor va connectat a un circuit integrat (L293D), que permet controlar la velocitat i el sentit de rotació a partir d'una senyal de pols modulada (PWM) que ofereix el microcontrolador (ARDUINO), per tant les pines del circuit integrat que es refereixen a entrades es connecten al controlador i les de sortida al motor, aquest circuit integrat que es basa en portes lògiques necessita de 5V per funcionar i per tant ha d'anar connectat al voltatge que ofereix el controlador (Vcc). En canvi el motor requereix de 12V i per tant el circuit integrat en el pin de Vs es connecta a la font d'alimentació. Per finalitzar la part del sistema de moviment, es situen 3 finals de carrera (ENDSTOP) que determinaran si les planxes han arribat a la part esquerra, a la part dreta o al centre de la màquina i enviaran una senyal al

controlador, és per això que van connectades als 5V que ofereix l'Arduino i a una entrada digital.

Pel que fa al sistema tèrmic, consta de tres elements, un relé o interruptor elèctric, la resistència elèctrica i un sensor de temperatura. Per tal de controlar la resistència s'utilitza el relé que permet connectar-la si no ha arribat a la temperatura desitjada marcada pel sensor o pel contrari desconectar l'alimentació si ha arribat al valor fixat. Per tant, tant el pin d'entrada del relé com el termistor van connectats a l'arduino i requereixen de 5 V per funcionar. La resistència es connecta per una banda al relé en el pin normalment obert(NO) i d'altra banda a fase. En el pin comú del relé es connecta el neutre.

Finalment, el microcontrolador, va connectat a la font d'alimentació mitjançant un cable Jack, és per això que es pot veure a l'esquema com es combina el positiu i el negatiu de la font d'alimentació en aquest cable.

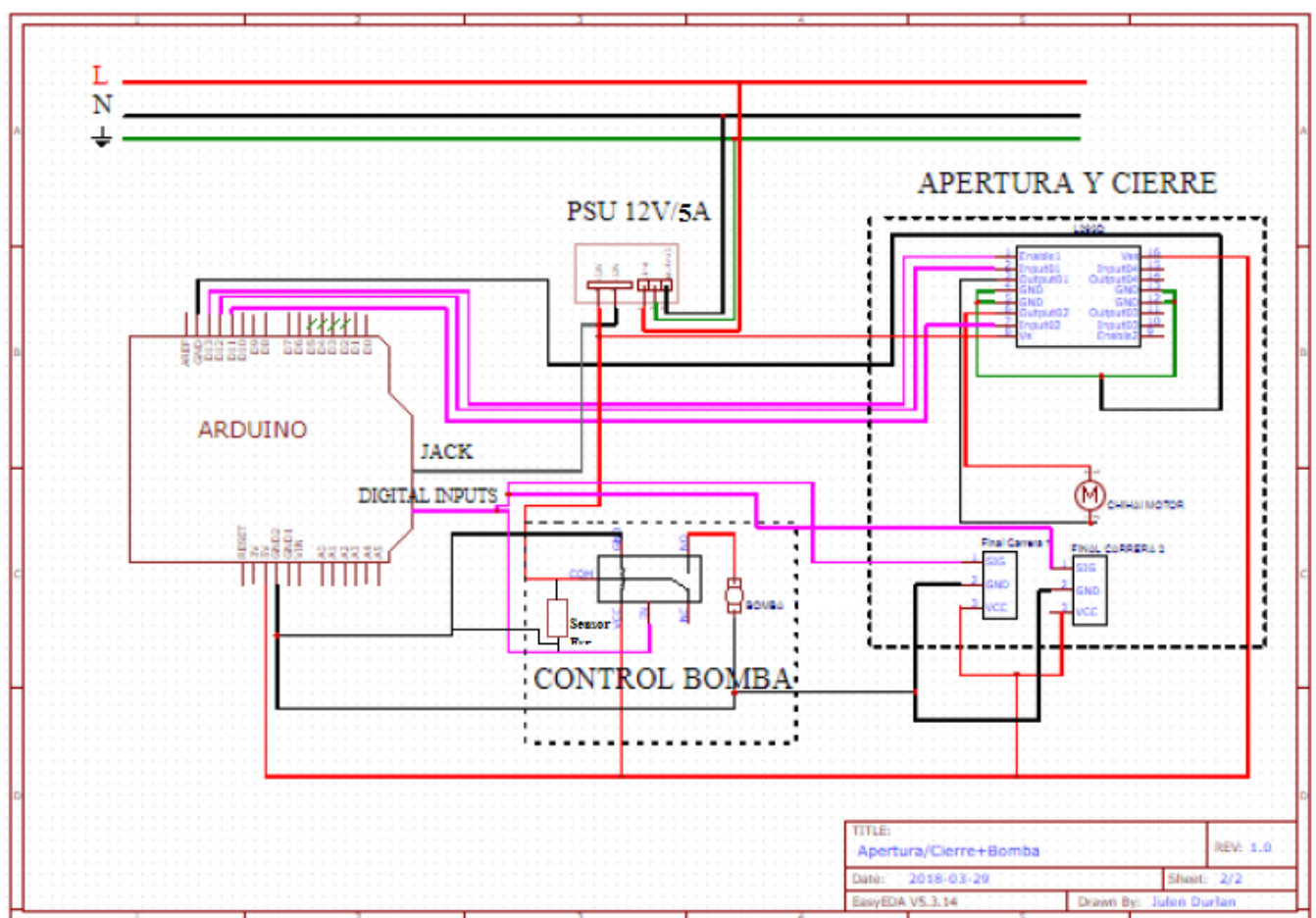


Figura 4.113.- Esquema elèctric del mecanisme d'obertura i el control de la bomba. Imatge pròpia.
 16/04/19

Aquest segon esquema elèctric es basa en el control del mecanisme d'obertura i plegat de la màquina i el control de la bomba.

Tot i que els esquemes es trobin separats, s'han respectat els pins utilitzats en l'anterior esquema.

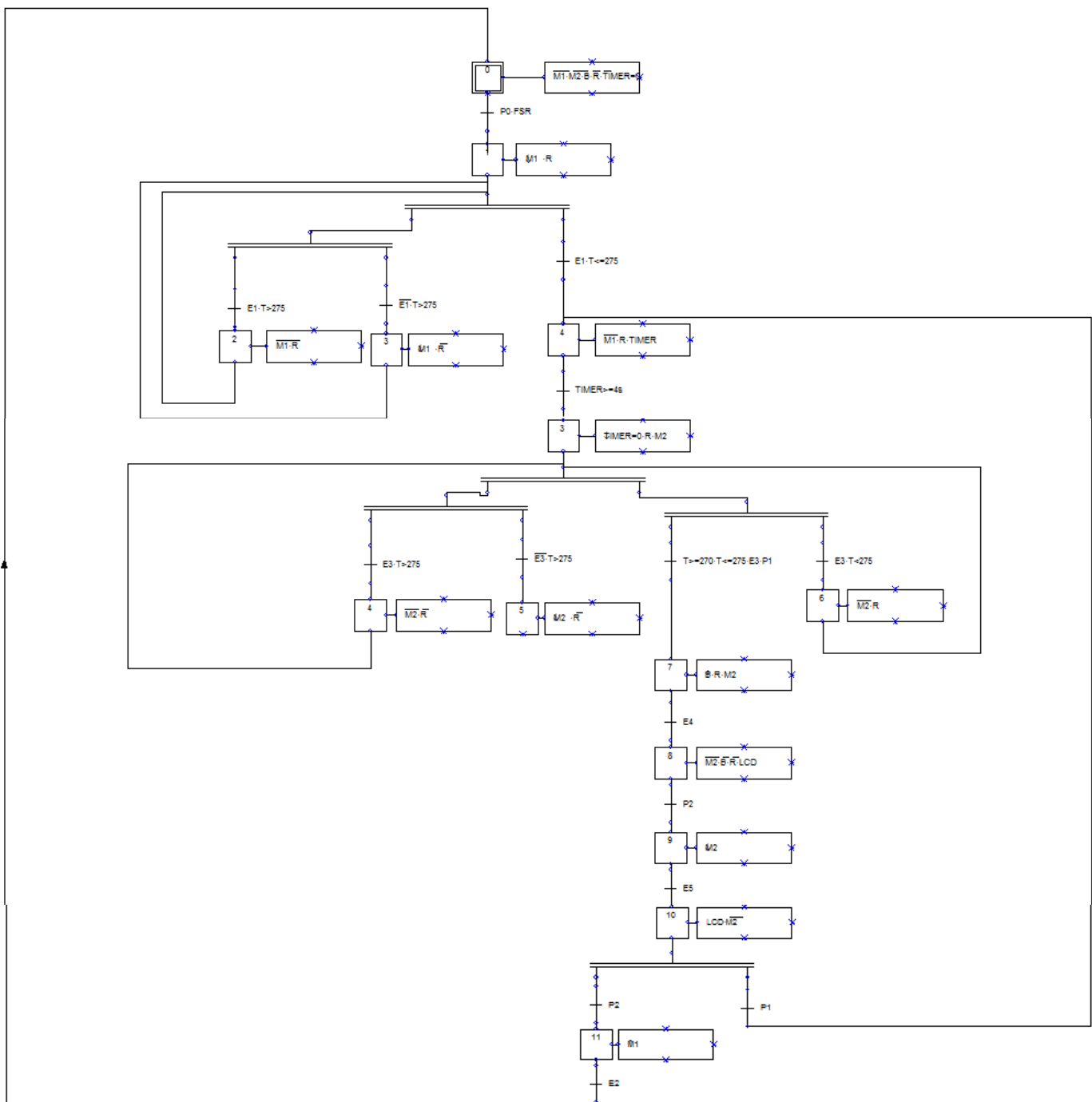
Iniciant l'explicació pel sistema d'obertura i tancament, es pot observar que és força semblant a l'anterior, consta de un circuit integrat(L293D) que permet controlar la velocitat i sentit de rotació del motor, de fet amb el mateix circuit integrat es poden

arribar a controlar dos motors de forma independent que és el que s'utilitzarà. A més en aquest cas es fan servir dos finals de carrera per controlar la posició del mecanisme que estan connectats a l'Arduino i a una tensió de 5V.

Pel que fa al control de la bomba, consta de tres components, la bomba, un relé i un sensor de pressió(FSR). Es tracta d'un sistema molt semblant al control tèrmic, tot i que a diferència de l'anterior, la bomba va connectada a 12volts DC. El positiu de la bomba va connectat al pin normalment obert del relé, el comú es connecta als 12 V de la font i l'entrada del relé a l'Arduino. El sensor per la seva banda va connectat a 5 V, i al microcontrolador.

Tot i que no s'ha comentat ,per tal de no anar repetir-ho constantment i cansar al lector, tots els dispositius van connectat a terra per evitar possibles perills.

Finalment, es proposa mostrar un GRAFCET, que no és més que un esquema que permet realitzar de forma simplificada la programació de la màquina.



Com es pot veure al Grafcet, s'inicia el procés de planxat quan els motors, la bomba i la resistència elèctrica es troben desconnectats i s'actualitza el temporitzador a 0. A continuació, si el sensor FSR està actiu, és a dir, hi ha aigua i es prem el botó d'inici, es dona l'ordre per connectar el motor M1 que fa referència al mecanisme d'obertura i plegat de la màquina i la resistència elèctrica.

Seguidament, apareixen un seguit de condicions sobre la temperatura del termistor i el microrruptor que indica que la màquina ha quedat oberta(E1), amb aquest conjunt de variables es tracta de considerar tots els casos possibles per evitar problemes de funcionament.

La condició que dona pas al següent punt és que la temperatura no sigui superior a un valor i que "E1" estigui activat. Aleshores, es para el motor M1, la resistència elèctrica continua connectada i s'inicia el temporitzador. Quan han passat 4 segons(per tal que no es produeixi una falsa lectura i s'accioni el següent mecanisme), s'activa el motor que controla la corretja M2 i es mou el sistema fins a un extrem per deixar espai per la col·locació de la vestimenta.

De nou, sorgeixen un seguit de condicions que involucren al final de carrera de l'extrem on s'estan movent les planxes i la temperatura per evitar casos no desitjats.

Seguidament quan la temperatura es troba en un rang idoni, el mecanisme ha arribat a la posició desitjada i l'usuari ha premut un botó per comunicar a la màquina que la roba està ben col·locada es dona pas a la següent acció.

A continuació, s'activa la bomba, la resistència i el motor per moure la corretja en sentit contrari al pas anterior, iniciant d'aquesta manera el procés de planxat fins que s'arriba al final de carrera de l'altre extrem.

Arribats a aquest punt, es desconnecta tant el motor M2, la bomba i la resistència i es demana a l'usuari que extregui la peça de roba planxada.

Un cop la vestimenta ha estat extreta i l'usuari mitjançant un botó ho ha comunicat a la màquina, es mou el sistema vertical de planxat fins al centre que serà advertit mitjançant el final de carrera central.

Finalment, gràcies a la pantalla de cristall líquid es pregunta a l'usuari si vol planxar una nova peça o bé tancar la màquina. Si es tracta del primer cas, el procés continua movent les estructures metàl·liques fins un extrem. Si per contra és l'últim cas, s'activa el motor del mecanisme d'obertura i plegat en sentit contrari al inicial fins que s'arriba al final de carrera superior.

5. Anàlisi de l' impacte ambiental

En el present apartat s'abordarà l' impacte que pot causar l'aparell dissenyat al medi ambient, s'analitzarà curosament l'efecte de les parts constituents de la màquina, la logística i l'ús domèstic.

Per poder avaluar correctament els efectes generats per l'aparell cal detallar la regla de les "3R" , que és un acrònim de reduir, reutilitzar i reciclar. A major quantitat d'aquestes propietats, menor impacte ambiental negatiu es genera.

Reduir es basa en utilitzar la mínima quantitat d'elements possibles, aquest aspecte s'ha enfocat en l'etapa de disseny, no incloent peces innecessàries. Un aspecte clarificador d'aquest primer punt, és la manca de carcassa. Habitualment, gran part de la maquinaria present es troba coberta amb una finalitat purament estètica, això repercuteix en un augment de pes, transport de material, fabricació, augment del cost econòmic , entre d'altres. En aquest projecte,s'ha tractat de complir l'aspecte estètic a partir d'altres punts de vista, sense haver de recórrer a l'ús excessiu de material.

Per analitzar la reutilització i el reciclatge de l'aparell cal observar el material principal de la màquina.Com s'ha especificat en apartats anteriors, el prototip es fabrica a partir d'alumini, aquest metall és un dels materials més ecològics que existeixen per raons diverses. Un dels principals avantatges de l'alumini és la facilitat de reutilització que té, un exemple d'aquesta afirmació és que més del 75% de l'alumini generat en poc més d'un segle encara s'utilitza, és a dir, l'alumini que es troba en llaunes, màquines, estructures o decoració no és nou²⁶. A més, aquest material no perd propietats transcendents al pas del temps i per tant els desfets són força valuosos, el que fa que l'economia no quedi ressentida, les empreses constructores o automobilístiques reciclen pràcticament el 95% de l'alumini fabricat evidenciant els beneficis d'aquest acte. Un altre exemple que pot resultar impactant és que el reciclatge d'alumini a l'actualitat estalvia cada any 80 milions de tones de gasos d'efecte hivernacle, el que equival a eliminar la meitat de cotxes en tot l'estat espanyol²⁷. És per aquestes raons principalment que l'alumini s'ha anomenat metall verd, però les seves aportacions no acaben aquí.

Si entrem a la logística o transport, cal tenir en compte la lleugeresa del material degut a que es tracta d'un dels metalls amb menor densitat, el que permet reduir notablement les emissions de diòxid de carboni per kilogram de material transportat. A més al tractar-se de xapes, el vehicle de transport no deixa pràcticament espais buits, ja que es poden anar apilant fàcilment, millorant així l'eficiència de la logística.

D'altra banda, entrant a la part de fabricació de l'aparell, com s'ha esmentat, s'ha optat pel tall laser, aquest procediment permet generar la mínima quantitat de despeses de material, ja que amb una mateixa xapa es poden arribar a produir una gran quantitat d'elements si s'optimitza l'espai, per exemple compartint línees entre dues peces o introduint elements dins dels espais buits d'una peça.

No obstant, per poder avaluar correctament l' impacte ambiental de la màquina, és necessari observar el consum d'energia elèctrica que té, ja que gran part de l' energia requerida per l'aparell es genera a partir d'indústries altament contaminants,tot i que

cada cop es tracta d'utilitzar les energies renovables. La màquina consumeix aproximadament 2600W, és a dir, 2600J/s. Aquest aspecte no ha sigut aleatori sinó que ha estat basat en la situació de la majoria de vivendes, específicament en el mínim d'energia elèctrica contractada recomanada, que és de 3450W²⁸. Per tant, la majoria de la població pot disposar de la màquina sense problemes de potencia i d'aquesta forma augmentar el mercat de clients.

D'altra banda, és important calcular la diferència en la quantitat d'energia gastada per planxar una peça de roba. Per conèixer aquest valor, cal determinar una potència estàndard de les planxes actuals i el temps requerit pel procés de planxat d'una peça de roba. Si per posar un exemple, es compara la màquina present amb una planxa de 1000 W i un temps de 5 minuts per vestimenta, l'energia és de 300.000J/peça de roba. En canvi, l'aparell dissenyat tarda únicament 12,5 segons en realitzar el procés, tot i que la potència sigui més elevada, l'energia utilitzada és de 32.500J/peça de roba, pràcticament una desena part, reduint així el consum d'energia elèctrica, que acaba afavorint a l'usuari en una baixada del cost de les factures.

Pel que fa a les possibles avaries, s'ha tractat de prevenir tot tipus d'accidents mitjançant la programació de la màquina, per exemple sobreescalfaments, manca d'aigua i altres aspectes que obligarien a la màquina a romandre parada. No obstant és possible que succeeixi una avaria amb l'aparell desconnectat, per exemple si està en el procés de planxat i l'alimentació deixa d'aportar energia a la màquina degut a un error en el subministrament elèctric, aleshores el vapor continuaria sortint degut a la lentitud en la baixada de temperatura del bescanviador, tot i així aquest vapor no seria força elevat, ja que la bomba deixaria d'impulsar aigua i per tant en un espai de temps curt no s'ejectaria més vapor, evitant així possibles cremades a la roba.

6. Normatives

A continuació, s'especificaran les normatives corresponents a la integritat del projecte, s'esmentarà la legislació relativa al disseny, creació de plànols, seguretat de la màquina, fabricació dels elements i comercialització.

6.1.- Disseny

- 1.-Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de maig de 2006, relativa a las màquines.
- 2.-Directiva 2014/35/UE del Parlament Europeu i del Consell, de 26 de febrer de 2014, sobre la harmonització de les legislacions dels Estats membres en matèria de comercialització de material elèctric destinat a ser utilitzat amb determinats límits de tensió.
- 3.-Reial Decret 1326/1995, de 28 de juliol, per el que es regula l'etiquetatge energètic de frigorífics, congeladors y aparells combinats electrodomèstics.
- 4.-Directiva 2009/125/CE Del Parlament Europeu i del Consell, de 21 d' octubre de 2009, per la que s' instaure un marc per l'establiment de requisits de disseny ecològic aplicables als productes relacionats amb l'energia.
- 5.- Reial Decret 2060/2008, de 12 de desembre, pel que s'aprova el Reglament d'equips a pressió i les seves instruccions tècniques complementàries.
- 6.-UNE-EN 50491-6-1:2014 Requisits generals per sistemes electrònics per vivendes i edificis (HBES) i sistemes d'automatització i control d' edificis.
- 7.-Directiva 97/23/CE relativa a equips a pressió.
- 8.-Directiva 2004/108/CE, de 15 de desembre de 2004, relativa a l' aproximació de les legislacions dels Estats membres en matèria de compatibilitat electromagnètica.

6.2.- Creació de plànols

- 1.-UNE-EN ISO 8015:2012. Especificació geomètrica de productes (GPS). Fonaments. Conceptes, principis i regles.
- 2.- UNE-EN ISO 1302:2002. Especificació geomètrica de productes (GPS). Indicació de la qualitat superficial en la documentació tècnica de productes.
- 3.- UNE-EN ISO 5455:1996. Dibuixos Tècnics. Escales.
- 4.- UNE 1026-2:1983. Dibuixos Tècnics. Formats i Presentació dels elements gràfics de les fulles de dibuix.
- 5.-UNE 1035:1995. Dibuixos Tècnics. Quadre de rotulació.
- 6.-UNE 1027:1995. Dibuixos Tècnics. Plegat de plànols.
- 7.-UNE 1032:1982. Dibuixos Tècnics. Principis generals de representació.
- 8.-UNE 1039:1994. Dibuixos Tècnics. Principis generals, definicions, mètodes d'execució i indicacions especials.

6.3.- Seguretat de la màquina

- 1.-UNE-EN 13861:2003. Seguretat de les màquines. Guia per l'aplicació de les normes sobre ergonomia al disseny de màquines.
- 2.- UNE-EN 614-1:2006+A1:2009. Seguretat de les màquines. Principis de disseny ergonòmic.
- 3.- UNE-EN 547-1:1997+A1:2009. Seguretat de les màquines. Mesures del cos humà.

- 4.- Reial Decret 2177/2004, de 12 de novembre, per el que s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per l' utilització pels treballadors dels equips de treball.
- 5.- Reial Decret 1849/2000, de 10 de novembre, Reglament de seguretat de les màquines.
- 6.- Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de maig de 2006, relativa a las màquines.

6.4.- Comercialització

- 1.- Reial Decret 1644/2008, de 10 d' octubre, pel que s'estableixen les normes per la comercialització i posta en servei de les màquines.
- 2.- Directiva 2006/42/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 17 de maig de 2006, relativa a las màquines.

7. Avantatges i Inconvenients del producte

En aquest apartat es mostraran els diferents avantatges i beneficis socials que comporta el producte i també els inconvenients i costos socials trobats a l'aparell.

S'ha d'entendre que la màquina dissenyada té l'objectiu d'eradicar un inconvenient present a la societat, és per això, que és indefugible que els avantatges superin els inconvenients, ja que del contrari el producte no tindria cap sentit.

7.1.- Avantatges

Les fortaleeses de l'aparell es poden tractar des de diferents punts de vista, com ara , l'econòmic, social i mediambiental.

Des del cristall de l'economia es pot observar que tot i que inicialment pugui semblar un aparell costós comparat amb una màquina de planxar habitual, cal tenir en compte el temps humà. Per argumentar aquesta proposició, cal endinsar-se en la finalitat de la feina. Una de les paradoxes més fascinants és que gran part de la societat destina un percentatge molt elevat de la seva vida treballant habitualment en un lloc poc vocacional per obtenir temps de vida o també anomenat diners. Si el lector para atenció al motiu últim de la feina s'adonarà que sovint aquesta proporciona una quantitat de diners que s'inverteixen en gaudir de temps vital, exemples d'aquesta idea és anar a prendre un aperitiu amb els amics, meravellar-se amb una obra mestre de música o simplement tenir salut, entre d'altres.

El planxat de roba habitualment no entra dins els exemples anteriors i acostuma a ser una tasca àrdua, tan sols cal recordar l'apartat on s'explica la història de la planxa, que inicialment els esclaus eren els únics que realitzaven el planxat de teixits i per tant això resta temps que pot ser dedicat a altres quefers, per tant aquest temps que no pot ser aprofitat resulta en una pèrdua de diners, que en tota una vida és força elevat.

La màquina dissenyada tot i ser inicialment més costos, al cap del temps pot resultar en una inversió rentable.

Des del punt de vista social, l'aparell reuneix un gran ventall d'avantatges. Principalment, el planxat de roba, no és una tasca senzilla, requereix de molta pràctica i cada cop hi ha menys persones que tinguin un coneixement ampli sobre la metodologia a aplicar, no obstant, la societat no menysté l'art del planxat i dona un valor social a la roba allisada, és per això que la màquina ofereix a gran part de la societat aquesta possibilitat sense la necessitat de conèixer pràcticament res més que encendre un botó.

D'altra banda, el producte present a diferència d'altres està dissenyat per poder ser adquirit per tots tipus de classes econòmiques, ja que ocupa un espai molt reduït i no és imperatiu dedicar pràcticament una sala de l'habitatge a una màquina.

Un altre aspecte important envers la societat, és l'estalvi temporal que ofereix la màquina, com s'ha comentat anteriorment, gràcies a l'aparell l'usuari pot destinar el propi temps vital a accions que desitgi, ja que el procés de planxat no deixa de ser una barrera per assolir l'objectiu de tenir la roba llisa.

A més, degut a la velocitat de planxat, en menys de 5 minuts es pot tenir llesta tota la roba de la setmana o bé poder utilitzar una mateixa camisa pràcticament cada dia si es requereix, un aspecte que habitualment ha estat resolt mitjançant la compra de major quantitat de roba. D'aquesta forma es pot tractar de reduir el consumisme present al món d'avui dia.

Des del prisma mediambiental, els avantatges queden presents a l'apartat de l'impacte mediambiental, tot i així es considera pertinent remarcar-los. Principalment el benefici principal de la màquina, és el material del qual està construïda, l'alumini és un metall que permet ser reutilitzar innombrablement sense perdre propietats, permet ser reutilitzat amb facilitat i a més gràcies a la seva baixa densitat evita la producció de tones de diòxid de carboni degudes a la logística i transport. A més l'aparell permet estalviar 10 cops més energia que les màquines domèstiques de planxat i per tant advoca per un consum energètic més responsable amb l'entorn.

7.2.- Milliores a realitzar

A continuació, es comentaran els inconvenients o desavantatges que presenta l'aparell, evidentment no es tracta d'una màquina perfecte i té un seguit de problemes que és positiu que siguin comentats per tal que puguin ser millorats en un futur. Pel que respecta a les millores en termes de fabricació de l'aparell s'abordaran a l'apartat de resultats.

Tot i que l'aparell té unes dimensions molt reduïdes quan es plega, mentre es troba en funcionament requereix d'un espai ampli per poder actuar i pot resultar en un problema a l'hora de ser col·locat en determinats espais.

Pel que respecta a l'àmbit social, tot i que afavoreix a gran part de la població, també pot resultar perjudicial per certes empreses o particulars que treballin oferint el servei de planxat, no obstant, aquestes persones no haurien de deixar els seus llocs de treball, podrien adquirir la màquina com si es tractés d'una eina més.

Un aspecte relatiu al disseny, és certa manca d'ergonomia a l'hora de col·locar la roba, ja que el client ha d'ajupir-se per tal de poder tensar correctament les fibres i assolir un planxat correcte, això pot resultar un inconvenient per persones amb dificultats de moviment com ara gent gran, però aquesta operació es duu a terme en un espai de temps ínfim, el que evita que pugui perjudicar a la gent i a més, es pot evitar si s'utilitza una cadira.

Un desavantatge que presenta la màquina respecte a les actuals en el mercat és que únicament és capaç de planxar una peça de roba en cada cicle, la màquina Effie per contra és capaç de allisar 12 peces de forma continuada.

Finalment, un aspecte que pot resultar un inconvenient és el pes, tot i que té la tercera part de la massa de les màquines actuals, és possible que resulti complex moure l'aparell sobre tot per gent gran o persones amb mobilitat reduïda. Es pot resoldre fàcilment canviant certes peces d'alumini per plàstic, però seria necessari crear una producció en sèrie.

8. Planificació de les tasques

A continuació, es mostrarà com s'ha planificat el treball, les diferents tasques programades i la seva duració mitjançant un diagrama de Gantt on es podrà determinar la ruta crítica.

S'ha de comentar que el treball es va iniciar a principis d'octubre de 2018, tot i que anteriorment ja s'havia realitzat una recerca d'informació i s'havia pensat en diferents tipologies de màquines. La programació de les tasques va ser dissenyada per finalitzar un mes abans de la data d'entrega del projecte.

Les diferents tasques a realitzar són les que es mostren a la taula següent. En ella s'especifica el nom de l'activitat, una descripció, la durada en setmanes i les activitats predecessores.

Nom Activitat	Descripció	Durada	Predecessores
A	Investigació ciència planxat	2	-
B	Investigació història planxa	2	-
C	Recerca màquines automàtiques	1	-
D	Brainstorming	3	A,B,C
E	Dissenys/Plànols	11	D
F	Càlculs Dimensionament	2	E
G	Càlculs Verificació	1	F
H	Automatització	5	E
I	Fabricació	4	G,H
J	Muntatge	2	I
K	Memoria	28	-
L	Revisió	2	K,J

Figura 8.8.1.- Activitats programades. Imatge pròpia. 23/04/2019

Les primeres tres activitats corresponen a una recerca d'informació prèvia al desenvolupament del projecte, ja que és important conèixer quines variables tenen una influència notable sobre el procés que es desitja realitzar(A), investigar com ha evolucionat un mateix aparell per tal de poder esbrinar els errors comesos en generacions anteriors(B) i tractar d'evitar-los i també determinar la competència directa de la màquina a dissenyar a partir dels productes que es troben actualment al mercat(C). Aquesta recerca cal que sigui acurada, ja que si no es comprenen correctament els conceptes es pot desembocar en errors posteriors i degut a això es considera que dues setmanes de recerca és un temps notable per poder realitzar la tasca.

Seguidament, cal fer una pluja d'idees(D) per tal d'obtenir un concepte de màquina útil, aquesta activitat no es realitza únicament al inici, habitualment la primera versió del prototip no és correcta, té errors i pot arribar a ser desestimat el concepte del aparell, sumant els diversos espais temporals es considera una durada de 3 setmanes.

En el cas del disseny(E) el procés és iteratiu de forma semblant al Brainstorming, ja que es troben aspectes negatius o que poden ser optimitzats.

Un cop realitzar el disseny del prototip cal realitzar càlculs dels diferents elements per observar si tenen una resistència adequada o si poden arribar a funcionar correctament(F), de vegades aquest pas fa variar el disseny, un cop s'ha dimensionat,

cal realitzar els càlculs de verificació(G) mitjançant simulacions o experimentant al laboratori.

Degut a que la màquina, és totalment automàtica, és imperatiu crear un programa(H) que permeti realitzar el control dels motors i sensors.

Finalment, un cop tot ha estat verificat, el següent pas és la fabricació(I) i muntatge(J) de la màquina, degut a que és una activitat subcontractada el temps sol ser d'un mes segons els fabricants.

La memòria del treball(K) és una dels aspectes principals del projecte i per tant es va realitzant en paral·lel des de l' inici.

Finalment, es important parar atenció i observar possibles errors en el projecte escrit prèviament a l'entrega(L).

A continuació, es mostra un diagrama de Gantt realitzat a partir de les activitats anteriors.

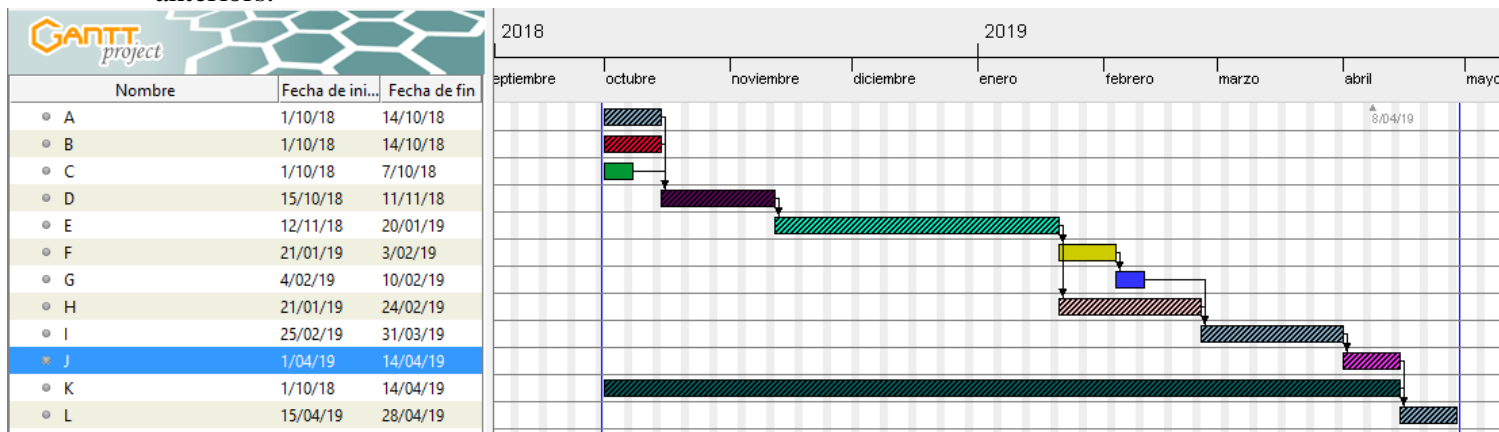


Figura 8.2.- Diagrama de Gantt de les activitats. Imatge pròpia. 23/04/2019

Tal i com il·lustra la figura anterior , el dia de finalització del treball correspon al 28 d'abril de 2019, pràcticament un mes previ a l'entrega per tal de deixar un marge per qualsevol imprevist.

Les activitats ratllades corresponen a la ruta crítica, és a dir, aquelles activitats que s'han de complir en les dates marcades, no es poden retardar. Les activitats que no estan dotades d'aquest marge nul són la C, F i G, que corresponen a la recerca de màquines automàtiques i els càlculs tant de dimensionament com de verificació.

A més degut a que els recursos són limitats, és a dir, únicament hi ha un autor del projecte, una de les zones crucials és quan es realitza en paral·lel les activitats F,G i H, per tant en aquesta part del desenvolupament del projecte caldrà organitzar el temps de forma acurada.

9. Pressupostos i Anàlisi Econòmica

En el present apartat s'abordarà el tema econòmic de la màquina. S'ha optat per realitzar dos anàlisis, el primer d'ells estarà purament basat en el prototip realitzat, especificant el cost dels materials, el treball per part de l'autor i el cost dels operaris. D'altra banda, es tractarà de realitzar una aproximació al preu de venda de l'aparell si fos produït en sèrie i amb altres tipus de fabricació que resulten més econòmics per tal d'ajustar-se a un preu competitiu.

9.1.- Anàlisi del prototip

S'inicia l'estudi a partir del prototip realitzat, que engloba tant el cost de fabricació (majoritàriament tall làser i plegat), hores de treball d'enginyeria (càlculs, disseny, memòria) i hores de muntatge per part dels operaris. Per una banda es mostraran els costos directes, és a dir, aquells que depenen de cada prototip, com és la fabricació i el muntatge. Cada cop que es produeixi un aparell aquests costos seran presents.

D'altra banda, es mostraran els costos indirectes, que engloben les hores d'enginyeria. Aquestes despeses s'hauran de repartir entre la quantitat de màquines que es realitzin.

9.1.1.- Cost directe

9.1.1.1.- Fabricació del prototip

Amb la finalitat de conèixer el cost relatiu al material, es van demanar pressupostos a diferents empreses dedicades al tall i plegat de xapa. L'empresa que va ser seleccionada és Metall-lògic® de la província de Girona (Catalunya). Per facilitar l'execució del pressupost es van aportar els plànols que requerien de tall làser en format .dxf situant les peces de la forma més compacta possible, per exemple, tractant que una mateixa línia de làser permetés separar dues peces, com es mostrarà a l'apartat de plànols.

D'altra banda, també es van proporcionar els plànols corresponents a plegat, aquesta tipologia de representacions es basen en especificar la situació del plec, l'angle i el sentit a plegar i la llargada d'aquest.

A continuació, es mostra el pressupost proporcionat per l'empresa, separat per els diferents elements que componen la màquina.

Qt.	Descripció (Nom de l'arxiu dwg o dxf)	Material	Gruix	Empresa	€ UNITARI FINAL	FABRICAICÓ
2 ut.	ChapaSoporteBarra280mm-AISI304-2mm-2ud.DXF	INOX 304	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	13,87 €	LASER + PLEGAT
4 ut.	ChapaSoporteBarra460mm-AISI304-2mm-4ud.DXF	INOX 304	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	14,10 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	Perch1-Alumini5083-O-3mm-1ud.DXF	ALUMINI	3,0 mm	BATALLÉ /UPC	21,53 €	LASER + PLEGAT
2 ut.	Perch3-Alumini5083-O-3mm-2ud.DXF	ALUMINI	3,0 mm	BATALLÉ /UPC	21,17 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaInferiorGuias 525Derecha-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	27,35 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaInferiorGuias 525Izquierda-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	27,33 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaInferiorMarcoPlanchaDer-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,14 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaInferiorMarcoPlanchalzq-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,15 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaMarcoTraseraDer-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	4,40 €	LASER
1 ut.	ChapaMarcoTraseralzq-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	4,42 €	LASER
1 ut.	MarcoPlanchaDer-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	26,80 €	LASER + PLEGAT

Figura 9.9.1.- Pressupost fabricació part 1. Metall-lògic. 17/04/19

1 ut.	MarcoPlanchalzq-Alumini5083-O-1mm-1ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	26,80 €	LASER + PLEGAT
2 ut.	TapaGuias-Alumini5083-O-1mm-2ud.DXF	ALUMINI	1,0 mm	BATALLÉ /UPC	1,85 €	LASER
4 ut.	BisagraChapa-Alumini5083-O-2mm-4ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	8,54 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	Chapa S-60-12-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	20,12 €	LASER + PLEGAT
2 ut.	ChapaFijaciónCorrea-Alumini5083-O-2mm-2ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	3,23 €	LASER
1 ut.	ChapaFijaciónSoporteMotorHusillo-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,52 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaFijaciónTuercaChapas-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,79 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaInferiorGuias150mm-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	17,13 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaPoleaCorrea-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,27 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaSoporteMotorHusillo-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	39,83 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	ChapaSoportePlanchas-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	15,22 €	LASER + PLEGAT
2 ut.	Perch5-Alumini5083-O-2mm-2ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	25,90 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	PerchUnion-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	24,96 €	LASER + PLEGAT

Figura 9.9.2.- Pressupost fabricació part 2. Metall-lògic. 17/04/19

1 ut.	PerchUnionOpuesto-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	24,96 €	LASER + PLEGAT
4 ut.	Soporte Rodillos-Alumini5083-O-2mm-4ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,87 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	SoporteBomba-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	10,33 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	SoporteMotorTransporte-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	14,20 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	TapaThermoBlock2-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	14,08 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	TapaThermoBlock-Alumini5083-O-2mm-1ud.DXF	ALUMINI	2,0 mm	BATALLÉ /UPC	15,02 €	LASER + PLEGAT
1 ut.	Perch1Rigidizador-Alumini5083-O-8mm-1ud.DXF	ALUMINI	8,0 mm	BATALLÉ /UPC	4,42 €	LASER
1 ut.	Perch1Soldad-Alumini5083-O-8mm-1ud.DXF	ALUMINI	8,0 mm	BATALLÉ /UPC	85,03 €	LASER + PLEGAT

Figura 9.9.3.- Pressupost fabricació part 3. Metall-lògic.17/04/19

El cost total dels elements de fabricació que il·lustra la imatge anterior és de **741,88€**.

9.1.1.2.- Components electrònics

També és important, tenir en compte el cost dels components elèctrics i electrònics, com ara motors, sensors, font d'alimentació, bomba o resistència elèctrica. A continuació, es mostra el seguit de factures referents a aquests materials per tal que el lector verifiqui la veracitat dels preus.

Enviado el 16 de marzo de 2019	
Productos comprados: 2 de: <i>Movimiento lineal de rodamientos a bolas - SODIAL(R) SBR12UU 12 mm bolas de movimiento lineal para soportes de rodamientos</i> Vendido por: Housewarestore (Perfil del vendedor) Estado: Nuevo	Precio EUR 3,75

Figura 9.9.4.- Preu dels rodaments lineals. Imatge pròpia. 17/04/19

Enviado el 18 de marzo de 2019	
Productos comprados: 1 de: <i>UsongShine Impresora 3D & CNC THSL-500-8D Longitud 100/200/300/400/500/600/800/900 mm T Motor paso a paso Trapezoidal plomo tornillo 8 mm rosca 8 mm T</i> Vendido por: Singasong Shop (Perfil del vendedor) Estado: Nuevo	Precio EUR 10,79

Figura 9.9.5.- Preu del vis sens fi. Imatge pròpia. 17/04/19

Enviado el 19 de marzo de 2019	
Productos comprados: 1 de: <i>Yongse Motor CHIHAI Motor DC 12V 2000rpm Motor de reducción de Alta Velocidad</i> Vendido por: Shopping365_24 (Perfil del vendedor) Estado: Nuevo	Precio EUR 15,14

Figura 9.9.6.- Preu motor mecanisme obertura. Imatge pròpia. 17/04/19

Enviado el 16 de marzo de 2019	
Productos comprados: 1 de: <i>D DOLITY DC12V 10W 100RPM Reductor de Velocidad de Marcha Motor de Engranaje Micro Motorreductor Eléctrico</i> Vendido por: Dolity EU (Perfil del vendedor) Estado: Nuevo	Precio EUR 9,26

Figura 9.9.7.- Preu motor moviment planxes. Imatge pròpia. 17/04/19

Enviado el 16 de marzo de 2019	
Productos comprados: 1 de: <i>AC 220V 2500W Bobinas de Alta Resistencia Bobina para Horno Calentador Bobina de Alambre para Elementos de Calefacción Horno de Calentamiento</i> Vendido por: nineoneu (Perfil del vendedor) Estado: Nuevo	Precio EUR 8,59

Figura 9.9.8.- Preu resistència elèctrica. Imatge pròpia.17/04/19

Enviado el 17 de marzo de 2019	
Productos comprados:	Precio
1 de: RPS Fuente de Alimentación 60W DC 12V 5A LED Alimentador Transformador Vendido por: REPROSUR (Perfil del vendedor)	EUR 14,95
Estado: Nuevo	
1 de: Aibecy 2 pcs 2 mm Pitch 6 mm Goma correa dentada goma Cinturón Polea übermittlungsband con alambre de acero para RepRap Prusa i3 3d impresora CNC di Vendido por: Loud-Luxury (Perfil del vendedor)	EUR 6,95
Estado: Nuevo	
1 de: UEETEK Acoplamiento flexibles del eje 4pcs 5mm a 8m m Acoplador del motor de pasos Acoplamiento de la aleación de aluminio para la máquina del CNC Vendido por: Fruitscher (Perfil del vendedor)	EUR 7,99
Estado: Nuevo	

Figura 9.9.9.- Preu de la font d'alimentació, corretja i acoblaments flexibles. Imatge pròpia. 17/04/19

Enviado el 20 de marzo de 2019	
Productos comprados:	Precio
1 de: In ZIYUN,Gravity: Analog High Temperature Sensor,Using this probe you can measure a temperature range between 30-350C,STM32 and other microcontrollers Vendido por: Joyforest (Perfil del vendedor)	EUR 36,41
Estado: Nuevo	

Figura 9.9.10.- Preu del sensor de temperatura. Imatge pròpia. 17/04/19

La part elèctrica i electrònica suposa una despesa de **113,83€**.

9.1.1.3.- Muntatge

A continuació, es realitzarà l'estudi pertanyent al procés de muntatge, es calcularan les hores requerides per part de l'operari i s'estimarà el cost aproximat d'aquest. Per tal d'obtenir el preu per hora d'un treballador que es dediqui al muntatge de maquinària, s'ha consultat la font de l'IDESCAT(Institut d'Estadística de Catalunya).

Ganancia media por hora	16,97	14,23	15,71	0,1	-1,0	-0,4
directores y gerentes	32,42	26,49	30,24	-1,9	0,5	-1,6
profesionales científicos e intelectuales	23,86	20,65	21,97	1,2	-2,3	-0,9
técnicos; profesionales de apoyo	19,87	16,47	18,46	-0,4	-2,7	-1,5
empleados oficina, contables y administrativos	15,28	12,40	13,34	-0,4	-2,1	-1,3
trabajadores restauración, personales y vendedores	13,93	10,32	11,80	-0,2	-0,8	-0,9
trabajadores sector agrícola, ganadero y pesquero	..	..	..	..	..	..
artesanos, trabajadores industrias y construcción	14,57	11,52 (*)	14,30	-0,6	-2,2	-0,6
operadores instalaciones y maquinaria, montadores	14,44	11,46	13,81	-1,0	-1,3	-1,4

Figura 9.9.11.- IDESCAT Salari brut anual i guany per hora. Per sexe i tipus d'ocupació (CCO-2011). Catalunya 2016

El valor més elevat, fa referència al sexe masculí i per tal de ser conservadors s'escollirà aquest valor. Les hores requerides pel muntatge de tot l'aparell ha estat consultat amb diferents operaris que han estimat una durada de 5 hores. Aleshores el cost de muntatge és de **72,2€**.

El cost directe computable del prototip és de **927,91€**. Tot i que inicialment, pugui semblar un cost molt elevat, cal recordar que es tracta d'un prototip. Habitualment, aquests costos es redueixen exponencialment si es produeix en sèrie i s'utilitzen mètodes de fabricació destinats a una producció constant. No obstant, aquest preu és competitiu amb les màquines actuals existents al mercat, ja que els preus inicials rondan el miler d'euros.

9.1.2.- Cost indirecte

El cost indirecte, és aquell que és independent del número de peces a produir, com ara el treball d'enginyeria.

Mitjançant fonts diverses com el BOE(Bolletí Oficial de l'Estat),l'IDESCAT o l'Ajuntament de Barcelona s'han recopilat les dades que es mostren a continuació.

La disposició 542 del BOE núm15, secció III, pàg 4373 article 33.2 es proporciona la taula següent:

Artículo 33. Tablas de niveles salariales.

1. Los salarios pactados en el presente Convenio, en cómputo anual, y agrupados por niveles, son los siguientes:

2.

	Mes × 14	Anual
Nivel 1. Licenciados y titulados 2.º y 3.º ciclo universitario y Analista	1.687,02	23.618,28
Nivel 2. Diplomados y titulados 1.º ciclo universitario. Jefe Superior	1.253,16	17.544,24
Nivel 3. Técnico de cálculo o diseño, Jefe de 1.ª y Programador de ordenador	1.208,40	16.917,60
Nivel 4. Delineante-Proyectista, Jefe de 2.ª y Programador de maq. Auxiliares	1.107,87	15.510,18
Nivel 5. Delineante, Técnico de 1.ª, Oficial 1.ª Admtvo. y Operador de ordenador	968,23	13.555,22
Nivel 6. Dibujante, Técnico de 2.ª, Oficial 2.ª Admtvo., Perforista, Grabador y Conserje ...	834,17	11.678,38
Nivel 7. Telefonista-Recepcionista, Oficial 1.ª oficios varios, y Vigilante	806,20	11.286,80
Nivel 8. Auxiliar Técnico, Auxiliar Admtvo., Telefonista, Ordenanza, Personal de limpieza y Oficial 2.ª oficios varios	750,38	10.505,32
Nivel 9. Ayudante oficios varios	698,24	9.775,36

Figura 99.12BOE Disp.542 num15, secció III, pàg 4373 article 33.2 Tablas de niveles salariales

Degut a que l'autor no és un professional i que el projecte realitzat correspon a un treball universitari, el nivell que correspondria a la feina realitzada pot ser comprés entre el nivell 2 o nivell 3 que devindrien aproximadament uns 1200€ bruts/mes. Si es té en compte que els salaris fan referència a una jornada completa i que els dies laborables d'un mes acostumen a ser 22, el salari diari són uns 54,5€ bruts. Considerant unes 8 hores de treball, el salari per hora és de 6,82€/h.

Consultant a les dades que proporciona l'Ajuntament de Barcelona a l'apartat de Barcelona Activa, el salari anual brut per un enginyer mecànic sense experiència professional és de 25.465€.Per obtenir el salari horari, cal dividir el valor en 14 mensualitats tenint en compte les pagues extres, és a dir, 1819€/mes. Aplicant la mateixa metodologia que per el cas anterior, el preu per hora seria de 10€.²⁵

Per últim, l'IDESCAT, proporciona la taula mostrada a l'apartat de muntatge, que fa referència al salari brut per hora, per diferents ocupacions i sexe.

Guany mitjà per hora	16,97	14,23	15,71	0,1	-1,0	-0,4
directors i gerents	32,42	26,49	30,24	-1,9	0,5	-1,6
professionals científics i intel·lectuals	23,86	20,65	21,97	1,2	-2,3	-0,9
tècnics i professionals de suport	19,87	16,47	18,46	-0,4	-2,7	-1,5
empleats oficina, comptables i administratius	15,28	12,40	13,34	-0,4	-2,1	-1,3
treballadors restauració, personals i venedors	13,93	10,32	11,80	-0,2	-0,8	-0,9
treballadors act. agrícoles, ramaderes i pesqueres	..	..	..	..	..	..
artesans, treballadors indústries i construcció	14,57	11,52 (*)	14,30	-0,6	-2,2	-0,6
operadors instal·lacions i maquinària, i muntadors	14,44	11,46	13,81	-1,0	-1,3	-1,4
ocupacions elementals	11,05	9,32	10,29	-0,4	0,2	0,2

Figura 9.9.13 Font: IDESCAT Salari brut anual i guany per hora. Per sexe i tipus d'ocupació (CCO-2011). Catalunya 2016

L'ocupació referent al treball realitzat es troba emmarcat entre tècnics i professionals de suport i empleats oficina, és a dir, entre 19,87€/h i 15,28€/h si es realitza un promig, el valor seria de 17,5€/h

El valor mostrat per la font d'IDESCAT, difereix altament respecte dels anteriors casos ja que s'agafa un salari mitjà i sobre professions molt diverses.

Per seleccionar un preu per hora adient, es realitza una mitja ponderada segons exactitud i precisió en l'aportació de dades, per tant donarà un pes del 50% al salari obtingut pel BOE, un 40% al preu obtingut per l'Ajuntament de Barcelona i un 10% al preu obtingut per l'IDESCAT.

$$\text{Preu per hora} = 0,5 \cdot 6,82 + 0,4 \cdot 10 + 0,1 \cdot 17,5 = 9,16€/h \quad \text{Equació 9.1}$$

Finalment, resta conèixer la quantitat d'hores destinades al treball, aquest valor és força complex de determinar de forma exacta, però es pot realitzar una aproximació a partir de la quantitat de mesos dedicats al projecte. Aquest treball ha estat executat en un total de 8 mesos, des d'octubre de 2018 fins maig de 2019. Tenint en compte que no s'ha pogut treballar constantment els primers 3 mesos degut a aspectes com assignatures universitàries. Es contarà un total de 6 mesos complerts. Si es considera que cada mes té 22 dies laborables i que s'ha treballat una jornada de 6 hores diàries, el total d'hores destinades al projecte es veu reflexat a l'equació següent.

$$\text{Total hores} = 6 \cdot 22 \cdot 6 = 792 \text{ h} \quad \text{Equació 9.2}$$

Aplicant el preu per hora calculat anteriorment:

$$\text{Cost disseny} = 9,16 \cdot 792 = 7254,72€ \quad \text{Equació 9.3}$$

Per tant si únicament, es vengués un prototip, el preu total seria de **8182,63€**.

9.1.3.- Optimització

Un cop calculats els costos relatius al prototip, és important tractar d'observar quines decisions es poden prendre per tal de reduir el preu amb l'objectiu de ser el màxim competitiu possible.

El cost indirecte, és força complex de reduir, ja que el treball que ha suposat executar el projecte podria reduir-se si l'autor tingués un coneixement més profund en disseny de maquinària o innovació o bé millorant la productivitat de la persona. Aquests aspectes són força complexos de variar en referència al treball realitzat.

D'altra banda, pel que fa als costos directes, el treball dels operaris podria arribar a reduir-se en temps de segons, si es realitza un muntatge en sèrie en una cadena de producció. Tot i així, aquest punt s'avaluarà en el proper sub-apartat referent a l'anàlisi econòmic de la màquina produïda en sèrie. Però pel cas del prototip, el muntatge serà pràcticament artesanal i per tant el cost és força complex de disminuir.

Els components elèctrics i electrònics es poden abaratir sempre i quan es comprin en quantitats elevades, ja que habitualment els fabricants ofereixen preus molt reduïts si es genera una compra quantitativa, però pel cas del prototip no tindria pràcticament sentit. Tot i així, es pot optar per realitzar una nova recerca de components que no alterin les necessitats de la màquina i que tinguin un cost menor. Tot i així, els components elèctrics representen aproximadament 100€ i com a molt es podria arribar a reduir a la meitat.

L'aspecte que si que pot ser optimitzat, és el cost de fabricació. Es va demanar informació a experts en aquest tipus de fabricació de l'empresa Vipram® ubicada a Torelló (Catalunya) i van recomanar que per reduir el cost significativament es podria utilitzar PETG, es tracta d'un plàstic fàcil de reciclar i manipular. Tot i que el preu per kg del material és superior al de l'alumini, té una densitat molt menor i per tant, el preu total disminueix juntament amb el pes de la màquina.

Tot i que té una resistència menor a l'alumini, hi ha una gran quantitat de peces que no es troben sotmeses a alts valors d'esforç com s'ha observat a l'apartat de càlculs i a més resulta més fàcil plegar làmines d'aquest material.

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DE LA RESINA DE PETg			
	NORMA	UNIDAD	VALOR
FÍSICAS			
Densidad	ISO 1183	g.cm ⁻³	1,27
MECÁNICAS			
Resistencia a la tracción hasta la deformación	ISO 527	MPa	53
Resistencia a la tracción hasta la rotura	ISO 527	MPa	26
Alargamiento hasta la rotura	ISO 527	%	>200
Módulo de elasticidad en tracción	ISO 527	MPa	2.200
Resistencia a la flexión	ISO 178	MPa	79
Resistencia al impacto Charpy con entalla	ISO 179	kJ/m ²	10
Resistencia al impacto Charpy	ISO 179	kJ/m ²	No rompe
Dureza Rockwell, escala M / R	ASTM D-785		115
Dureza a la presión de la bola	ISO 2039	MPa	(*)
ÓPTICAS			
Transmisión de luz	ASTM D-1003	%	88
Refracción	ASTM D-542		1,57
TÉRMICAS			
Temp. máxima de utilización en continuo		°C	60
Temp. reblandecimiento VICAT (10 N)	ISO 306	°C	83
Temp. reblandecimiento VICAT (50 N)	ISO 306	°C	78
Temp. reblandecimiento HDT A (1,8 Mpa)	ISO 75-2	°C	68
Temp. reblandecimiento HDT B (0,45 Mpa)	ISO 75-2	°C	72

Figura 9.14.- Propietats estàndard del PETG. NUDEC.17/04/19

De forma simplificada, el preu podria arribar a reduir-se a la meitat simplement canviant de material, tot i que certes parts haurien de ser d'alumini, ja que requereixen

d'un major límit elàstic. Considerant aquest aspecte, el cost de fabricació podria resultar de 370€.

No obstant, també es pot dur a terme una optimització del preu a partir de la modificació dels elements amb un cost superior a la resta.

A continuació es mostra un gràfic il·lustrant el preu dels diferents components per tal d'observar aquells que es desvien en excés i com podrien ser modificats per tal de reduir el cost.

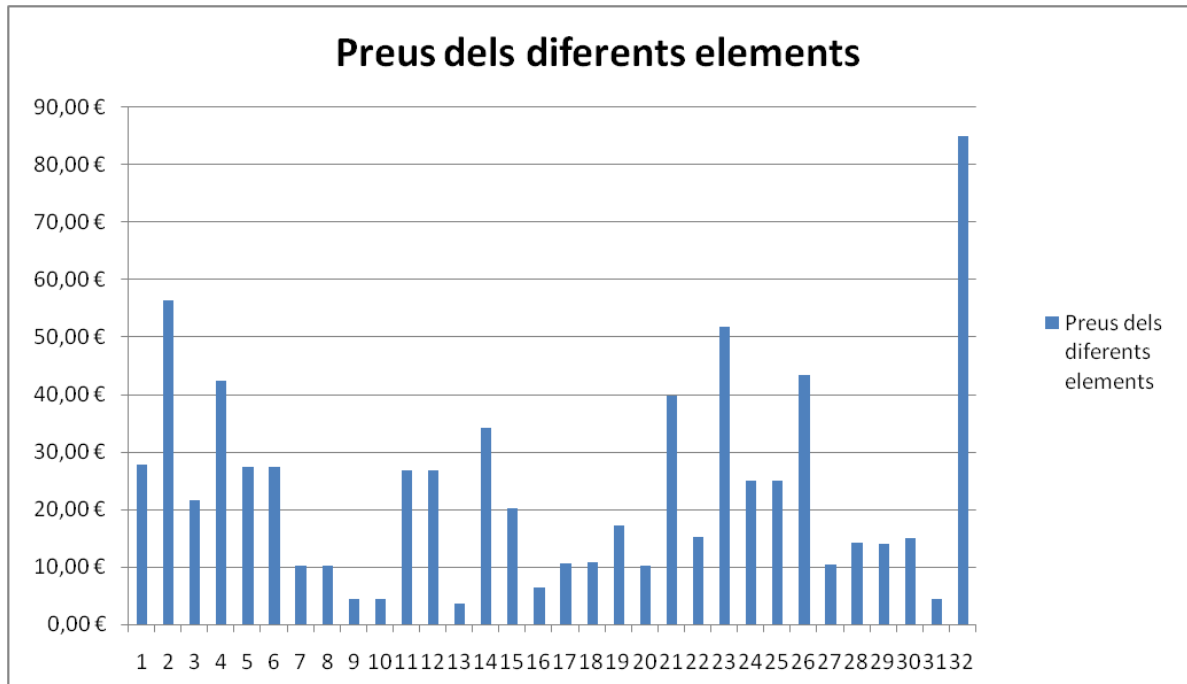


Figura 9.9.15.- Gràfic de barres representant el cost dels diferents elements. Imatge pròpia. 17/04/19

A partir del gràfic, és senzill obtenir els elements que cal optimitzar per reduir el cost, en aquest grup entraria l'element 2,4,14,21,23,26 i 32. Aquests 7 elements tenen un preu equivalent a la meitat del preu total, aproximadament 352€.

L'element 2 correspon a les guies d'acer inoxidable, el preu tant elevat d'aquestes correspon al material utilitzat, si es fabriquessin de PETG, el preu cauria dràsticament, més de la meitat, ja que el preu de l'inoxidable és pràcticament 3 cops menor al del PETG, però caldria utilitzar productes per fixar la barra d'acer que encaixa amb els rodaments. Això seria possible a partir de resina EPOXY, que al curar-se permet unir peces amb una tensió considerable. De forma simplificada es podria reduir el preu d'aquestes xapes fins a 20€.

D'altra banda l'element 4 i l'element 23, fan referència a les barres que componen el mecanisme d'obertura i plegat, aquests elements es podrien arribar a fabricar amb PETG, però el límit elàstic del material no seria suficient. Una modificació que augmentaria la resistència i reduiria el cost, és redissenyar el mecanisme d'obertura, utilitzant únicament barres calibrades d'acer i foradar els extrems mitjançant un trepant per unir les barres. Aquestes barres són molt econòmiques a conseqüència del procés de fabricació.

L'element 21, correspon a les frontisses del mecanisme, al ser 4 augmenta el preu considerablement, tot i així es podrien dissenyar de tal forma que s'evités una plegada, però és força complex optimitzar aquest element amb la finalitat de reduir el cost significativament.

La part 23, correspon a el suport dels corròns, aquests, al ser 4 tenen el mateix problema que el cas anterior, tot i així podrien ser fabricats en PETG.

Finalment, l'element amb un cost més elevat, fa referència a la xapa de 8mm que suporta el pes del mecanisme d'obertura. L'espessor de la xapa encareix exponencialment el producte, ja que el temps de tall làser augmenta i plegar un gruix tant elevat suposa un esforç considerable. Per optimitzar econòmicament aquest element, es podria utilitzar ferro, que és un dels metalls més econòmics en termes de fabricació i així reduir el gruix, ja que la resistència del ferro es superior.

9.2.- Anàlisi de fabricació en sèrie

Un cop explicat l'anàlisi econòmic del prototip, és important determinar el cost de la màquina si fos produïda en sèrie, ja que seria el preu de mercat.

Si es tenen en consideració les mesures adoptades a l'apartat d'optimització, com ara el material i les modificacions de disseny i es tracta de realitzar les peces mitjançant el procés d'injecció de plàstic, que permet produir una gran quantitat de peces en poc temps, amb l'inconvenient de fabricar un motllo per a cada element diferent, el que suposa una inversió força elevada, es podria tenir un cost de fabricació realment baix. Probablement de desenes d'euros.

A més al produir en sèrie, es pot optar per una cadena de muntatge i d'aquesta forma reduir dràsticament els temps, disminuint així el cost d'operaris.

Donaria per un treball sencer tractar de calcular el cost d'aquest tipus de fabricació, ja que s'hauria de dissenyar els motllos corresponents i pressupostar-los per posteriorment calcular la inversió a realitzar.

Tot i així, podria ser econòmicament viable arribar a un cost de 300€/màquina, si s'adoptessin aquest seguit de mesures.

10. Resultat

En el present apartat es comentarà si el funcionament ha estat satisfactori i s'esmentaran certes millores que es poden realitzar per futurs prototips que han pogut ser observades en el procés del muntatge.

Un cop l'aparell ha estat construït s'ha tractat de planxar uns pantalons, una camisa i una samarreta. Les tres peces de roba han estat allisades correctament, per tant la funció principal de la màquina ha estat assolida correctament. Tot i així cal esmentar que en el procés de planxat de la camisa, el coll i els punys d'aquesta no s'ha pogut obtenir un resultat excel·lent, ja que habitualment es desitja dotar aquestes parts d'un plegat característic que no ha pogut ser realitzat amb la màquina. No obstant, el conjunt de la vestimenta ha estat correctament allisada, amb un acabat semblant al d'un procés de planxat habitual.

S'ha aconseguit evitar certes arrugues que deixaven altres màquines mitjançant el disseny de subjecció de la roba, que permetia situar les mànigues en l'angle òptim.

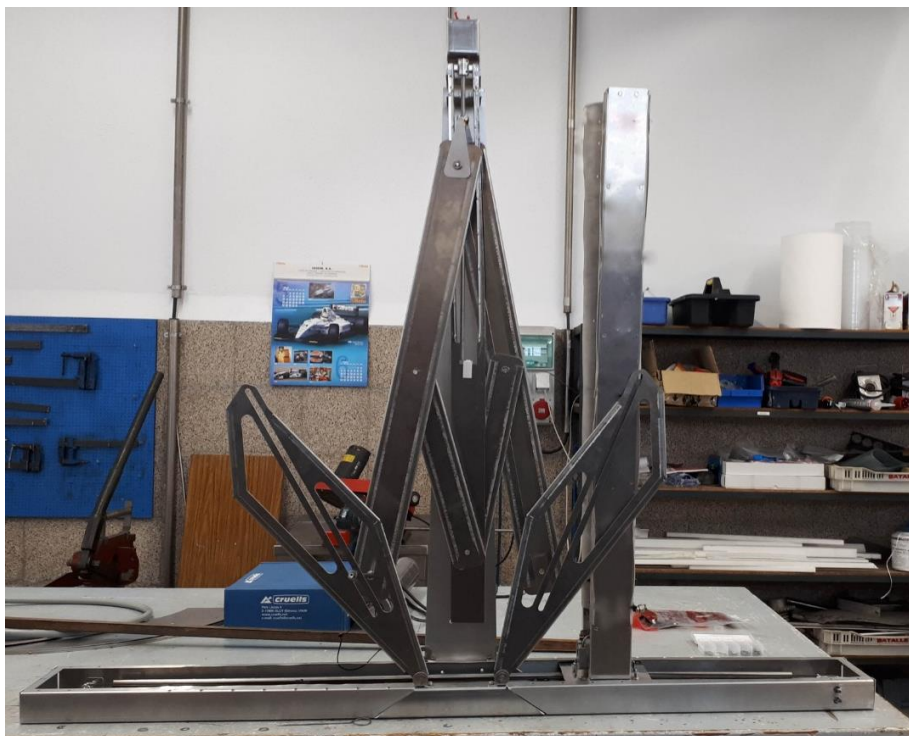


Figura 10.1.- Construcció de la màquina vista frontal. Imatge Pròpia.20/05/19



Figura 10.2.- Construcció de la màquina vista isomètrica. Imatge Pròpia.20/05/19



Figura 10.3.- Construcció de la màquina vista de perfil. Imatge pròpia.20/05/19

Encara que s'ha aconseguit planxar, hi ha certs punts que podrien millorar-se pel que fa al funcionament. Les peces de roba, un cop s'havia efectuat el procés de planxat quedaven humides al tacte, això es degut a la quantitat de vapor aplicada. El cabal màssic de vapor necessari per aconseguir un planxat òptim no va poder ser calculat i el

valor va ser seleccionat a partir d'una recerca d'altres fabricants. Per solucionar aquest inconvenient, es va situar un regulador de cabal a la sortida de la bomba d'aigua fins a controlar exactament la quantitat necessària. No obstant, és pertinent seleccionar una bomba amb un caudal menor, per evitar l'ajust.



Figura 10.4.- Regulador de caudal situat a la màquina. Imatge pròpia. 20/05/19

A continuació, es comentaran les millores que es poden realitzar respecte a la fabricació i disseny de l'aparell. Un dels principals inconvenients que s'ha trobat és a l'hora de soldar les barres calibrades amb les guies, ja que la influència de la temperatura va deformar part de la xapa degut a dilatacions i contraccions i això va impossibilitar que les barres quedessin totalment lineals i els rodaments quedaven clavats al passar d'una barra a una altra. Un cop observat aquest problema, es va optar per soldar una barra sencera de punta a punta de la màquina amb les guies mentre s'anaven respectant les distàncies i posteriorment tallar les porcions corresponents. Però, al separar les diferents parts queda un espai buit entre barra i barra on les boles del rodament quedaven travades.

Una solució a aquest problema, era tallar les barres mitjançant un procés d'electroerosió per fil, que permet obtenir toleràncies molt baixes, però es un procediment molt costós. Degut a la manca d'economia es va decidir no plegar el prototip, però es van aportar tres solucions per futurs prototips.

La primera solució es tracta de substituir les barres calibrades, per tubs del mateix diàmetre i encabir a l'interior d'aquests una frontissa oculta cilíndrica embotida.



Figura 10.5.- Frontissa Oculta Cilíndrica Embotida. Imatge pròpia. 20/05/19

Aquestes frontisses permeten situar tubs de forma coaxial i tenen una rotació fins a 180° , mitjançant aquesta solució s'assolirien dos aspectes, per una banda es reduiria el pes de l'aparell al no utilitzar una barra massissa i per altra que no hi hagués cap problema de coaxialitat i els rodaments poguessin passar sense inconvenients.

Una altra solució al problema, hagués estat utilitzar coixinets de fricció en comptes de rodaments, aquests elements no requereixen de boles que puguin quedar clavades, ja que treballen mitjançant el lliscament. Degut a que no es requereix de precisions molt elevades per tal que funcioni aquests coixinets podrien tenir certa tolerància i d'aquesta forma evitar la preocupació per la deformació de la xapa deguda a l procés de soldadura.

També, hagués estat possible utilitzar un passamà calibrat amb orificis en l'eix central i unir mitjançant unions cargolades la barra, gràcies a aquest procediment, no existeix cap deformació notable i els rodaments podrien haver funcionat sense inconvenients.

D'altra banda, s'han realitzat certes modificacions del disseny durant el procés de muntatge i fabricació pel que fa al sistema de vapor principalment.

En el disseny que es va realitzar, el vapor circulava per tubs de coure fins l'alçada corresponent. Es va advertir que seria força complex i laboriós muntar aquests sistema, degut a que requeria de molta soldadura que dificultaria que l'acabat fos exactament igual que els plànols, per tant, es va optar per conduir el vapor mitjançant un sistema de tub de PTFE(tefló) que pot arribar a suportar temperatures fins a 180°C , a més consta d'una gran flexibilitat facilitant així tot el procés de muntatge.

Respecte a la sortida de vapor, es va utilitzar una tovera accelerant així l'evacuació del gas i millorant la penetració al teixit. Es va anar optant per diferents tipologies fins que es va trobar la que resultava òptima.



Figura 10.6. Muntatge del sistema de vapor. Imatge pròpia.20/05/19



Figura 10.7. Muntatge de la sortida de vapor. Imatge pròpia.20/05/19

Un altre aspecte que ha estat modificat per tal de millorar el funcionament, és el contrapunt del vis sens fi, s'ha optat per canviar la forma d'aquest per un cilindre buit on el vis sens fi queda limitat i recolzat a la punta, ja que el disseny original basat únicament amb un con no restringia el moviment del vis sens fi com es requeria.



Figura 10.8.- Mecanisme d'obertura i plegat de la màquina amb contrapunt. Imatge pròpia.20/05/19

Pel que fa al generador de vapor, s'ha optat per situar-lo en una posició més elevada ja que tot i que es troba recobert per espuma aïllant, les temperatures que assoleix poden perjudicar els elements que entren en contacte i malmetre les xapes, per fer-ho s'han utilitzat un parell de brides connectades a uns cargols que permeten regular l'alçada del generador.

S'ha d'esmentar que han hagut peces tallades a làser que no respectaven les toleràncies marcades i per tant ha calgut modificar-les, com ara certs orificis que s'ha repassar mitjançant un trepant, ja que impediien el correcte posicionament dels cargols.

Pel que respecta al muntatge dels components electrònics, una de les principals modificacions que s'han realitzat respecte el disseny original ha estat el control dels motors, ja que el circuit integrat seleccionat inicialment no va poder suportar el pic d'intensitat demandat pels motors i es va cremar, per resoldre aquest problema, es va optar per utilitzar un circuit format per MOSFET que es un tipus de transistor de potència capaç de suportar alts amperatges.

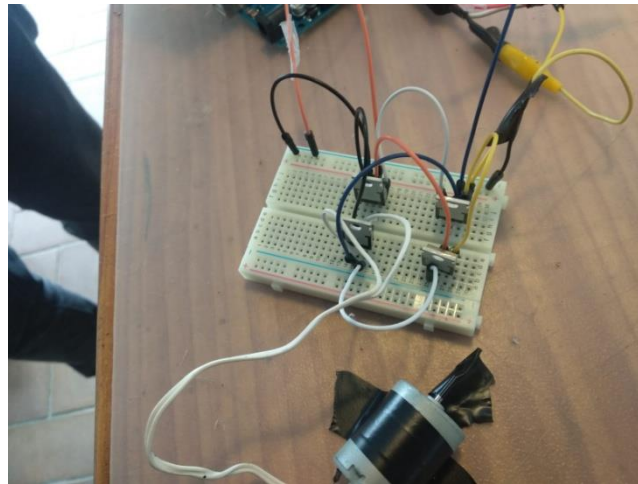


Figura 10.9.- Pont H amb Mosfets. Imatge pròpia. 20/05/19

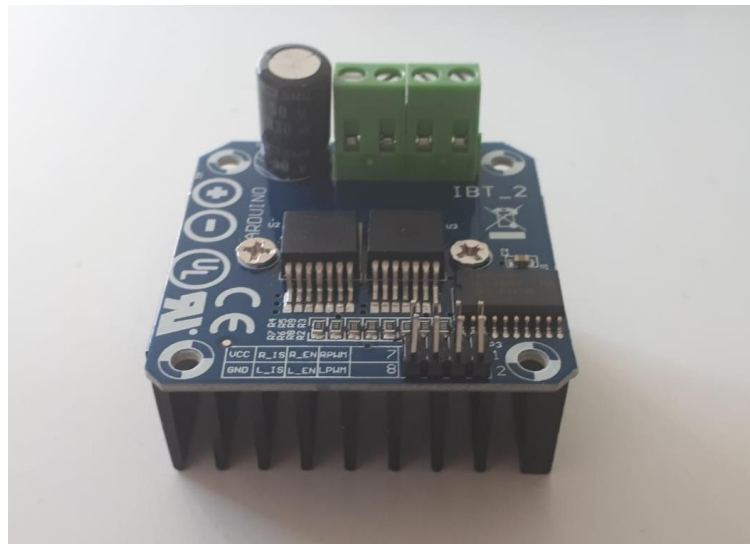


Figura 10.10. Controlador motor amb Mosfet BTS706090. Imatge pròpia. 20/05/19

Es considera interessant introduir aquestes millores i modificacions en futurs prototips de l'aparell per tal de millorar l'eficiència i la velocitat del procés de construcció. S'ha observat també la importància cabdal que té el procés de muntatge, ja que és en aquest punt on l'enginyer pot augmentar el seu coneixement a partir dels errors comesos i les modificacions requerides, ja que tot i que es realitzi un bon disseny, el projectista no és capaç de visualitzar al complet la viabilitat del conjunt.

Tot i que el resultat ha estat satisfactori, ja que s'ha acomplert la tasca principal, aquest projecte no és més que un primer pas fins la consecució d'una màquina que pugui ser comercialitzada en sèrie, ja que per poder arribar a una producció en cadena és imprescindible evitar certes modificacions i estandarditzar tots els elements de la màquina.

11. Conclusions

Durant el transcurs del present projecte s'ha creat un aparell capaç de realitzar un planxat de roba de forma automàtica destinat a l'àmbit domèstic. Per tal d'assolir aquesta fita es van marcar un seguit d'objectius a complir.

Inicialment es va dur a terme una àmplia recerca d'informació respecte els mecanismes físics que permetien allisar una vestimenta, com eren la temperatura, la pressió i l'aigua, que interactuen amb el teixit polimèric de les peces de roba reordenant les fibres.

Aquest coneixement va resultar valuós per tal de poder determinar els aspectes clau dels que havia d'estar dotada la màquina. A més, van ser investigades les diferents patents d'artefactes creats durant la història per evitar topiar amb els mateixos errors i aportar una certa visió de l'evolució d'aquesta tipologia d'aparells.

Aquest primer objectiu, es considera transcendental en qualsevol projecte, ja que la manca del mateix pot generar un seguit de conseqüències nefastes a l'hora de dissenyar, és important recopilar tota la informació existent per tenir garanties en l'aparell a crear.

El segon objectiu que es va marcar, consistia en idear una màquina que pogués automatitzar el procés d'allisat de roba, atenent a requeriments socials per tal de poder ser introduït a tot tipus de vivendes. Ha estat imperatiu innovar un aparell de reduïdes dimensions, baix temps de planxat i un preu de venda assequible, degut a que actualment els habitatges tenen menor superfície habitable i existeix gran part de la població que s'està recuperant de la gran crisi econòmica. Per tal d'assolir aquest objectiu han estat necessaris 3 prototips completament diferents, ja que a mesura que avançava el disseny s'anaven determinant errors que obligaven a prendre un nou camí fins a una màquina funcional. Finalment, el prototip definitiu ha englobat diferents aspectes que no són presents a les actuals màquines de planxat, com ara la possibilitat de plegar l'aparell i poder ser emmagatzemat en un espai reduït o bé un pes mínim de l'aparell.

A continuació, el tercer objectiu es basava en dissenyar cadascuna de les parts de la màquina ideada. Per fer-ho s'han utilitzat elements estandarditzats per tal de reduir costos i augmentar la fiabilitat de l'aparell i s'ha centrat el conjunt del disseny en la fabricació, atenent a restriccions marcades pel tall làser o el plegat de xapa, com ara la longitud mínima de plegat o les toleràncies pròpies d'aquests processos per tal d'evitar en la mesura del possible errors provinents de la subcontractació. També és important comentar que els elements constituents de la màquina han estat dissenyats per tal de reduir l'impacte ambiental i que un alt percentatge de l'artefacte pot ser reciclat i reutilitzat per altres aplicacions quan finalitzi la seva vida útil.

Seguidament, un cop obtingut el disseny de l'artefacte s'ha optat per realitzar un seguit de càlculs de dimensionament i verificació dels principals elements a partir d'estudis analítics i també mitjançant simulacions computacionals, tant de les velocitats, acceleracions i forces d'inèrcia del mecanisme, com anàlisis de seccions resistents o estudis termodinàmics pel que fa al bescanviador de calor. Aquests càlculs han resultat de gran ajuda per tal de poder assegurar el correcte funcionament dels diferents elements i poder dimensionar el conjunt amb garanties. Tots els càlculs analítics han estat avalats per simulacions a partir d'elements finits mitjançant programes com Ansys® i Comsol®.

El cinquè objectiu, es basava en programar la màquina per tal que pogués ser automatitzada, per fer-ho s'ha utilitzat un autòmat on mitjançant el llenguatge de programació C++, s'han pogut donar les ordres necessàries per tal de realitzar la tasca de forma efectiva, a més s'ha optat per generar una comunicació entre usuari i màquina a partir d'una pantalla de cristall líquid on el consumidor pot observar fàcilment que està realitzant l'aparell i indicar a la màquina les accions realitzades.

Finalment, el darrer objectiu a complir ha estat la construcció i fabricació del prototip. A partir dels elements dissenyats, s'ha subcontractat la fabricació per tall làser i plegat de xapa i a continuació s'ha procedit amb el muntatge de l'aparell on s'han hagut de realitzar certes modificacions del disseny original a causa de certs errors en el procés de fabricació o bé certs aspectes que no s'havien tingut en compte, com és la deformació de la xapa causada per la influència tèrmica del procés de soldadura, que ha obligat a prendre certes decisions per tal que l'aparell fos funcional. Gràcies a aquest últim punt s'han pogut determinar certes millores a realitzar en futurs prototips per tal de fer més assequible l'aparell i dissenyar de forma més eficient.

Com pot observar el lector, tots els objectius proposats a l'inici del treball han estat realitzats de forma satisfactòria. Tot i que es pugui pensar que un objectiu és més transcendent que un altre, cal entendre que si un d'ells no hagués estat correctament resolt, difícilment hagués estat possible crear un aparell funcional totalment innovador. No obstant, es considera altament recomanable la construcció de la màquina, ja que com a enginyer aporta moltes eines de verificació i d'aprenentatge per tal d'evitar certs errors que s'han pogut cometre i millorar-los en futurs prototips.

Tot i ser completament funcional, cal destacar que durant la construcció de l'aparell no s'ha pogut plegar la màquina a causa de que el procés necessari per realitzar-ho amb garanties era inviable en termes econòmics, tot i així s'han proposat un seguit de millores i modificacions a realitzar en futurs prototips per tal d'assolir una màquina totalment comercialitzable. A més, a partir de l'anàlisi dels costos s'han evidenciat certs aspectes que poden ser modificats per tal d'abaratir el preu de venda de l'aparell i poder ser notòriament més assequible. Aquest projecte no deixa de ser la primera pedra del camí cap a la consecució d'una màquina que pugui arribar a estar present en tots els habitatges de la població

12. Bibliografia

- ¹.- Juez, Fernando Martín. *Contribuciones para una antropología del diseño*. Barcelona: Editorial Gedisa, 2002. ISBN 9788474329438
- ².- White, Henry Seely. *An Autobiographical Memoir*. *The National Academy of the Sciences* [en línia]. 1930. ISSN 0077-2933. [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible a < <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/> >
- ³.- Valenzuela, América. *¿Por qué planchar alisa la ropa?* [en línia]. Madrid: El porqué de la Ciencia. RTVE, 25/05/2013. [Consulta: 12 novembre 2018]. Disponible a < <http://www.rtve.es/noticias/20130525/planchar-alisa-ropa/672040.shtml> >
- ⁴.- Picasso, Pablo. *La Repasseuse*: Pintura a l'oli 116,2 x 73 cm: 1904. Solomon R. Guggenheim Museum, Nueva York. Colecció Thannhauser Primavera de 1904.
- ⁵.- Organització de les Nacions Unides (ONU). *World Population Prospects. Department of Economic and Social Affairs* [en línia]. Estats Units. 2015. ISBN 978-92-1-151517-6. [Consulta: 16 novembre 2018]. Disponible a < https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf >
- ⁶.- Instituto Nacional de Estadística (INE). *Índice de precios de vivienda* [en línia]. Espanya. 2018. [Consulta: 20 novembre 2018]. Disponible a < <http://www.ine.es> >
- ⁷.- Ivester, A Lee & Neefus, John D. *Industrial Textiles y de la confección*. A: Mager Stellman, Jeanne. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y asuntos sociales. 1998. ISBN 84-8417-047-0
- ⁸.- Mondragon González, Karina. *Fibras Sintéticas I* [en línia]. Escuela Superior de Ingeniería Tèxtil. Instituto Politécnico Nacional. México. 2013 [Consulta: 20 desembre 2018]. Disponible a < <http://fibrologia.blogspot.com/2013/04/fibras-sinteticas.html> >
- ⁹.- Quinn, A.E. & Mattiussi, R. *Fibras Sintéticas*. A: Mager Stellman, Jeanne. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Madrid: Ministerio de Trabajo y asuntos sociales. 1998. ISBN 84-8417-047-0
- ¹⁰.- Mangonon, Pat L. *Ciencia de Materiales. Selección y Diseño*. Mexic: Editorial Pretince Hall, 1999. ISBN 9789702600275
- ¹¹.- Lorch, Mark. *The Chemistry of Ironing* [en línia]. University of Hull: The Conversation, 2017. [Consulta: 23 desembre 2018]. Disponible a < <https://theconversation.com/how-chemistry-can-make-your-ironing-easier-74563> >
- ¹².- WIPO. *PatentScope* [en línia]. Estats Units: World Intellectual Property Organization. 2019. [Consulta: 03 gener 2019]. Disponible a < <http://www.patentscope.wipo.int> >

- ¹³.- Maestre, Carlos. *La Plancha* [en línia]. Espanya: Junta de Andalucía. 2015. [Consulta: 05 gener 2019]. Disponible a < <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic> >
- ¹⁴.- Arnaldo Caprai Gruppo Tessile. *Virtual Museum of Textile Arts* [en línia]. Perugia, Italia: Grupo Tessile, 2014. [Consulta: 10 gener 2019]. Disponible a < <http://www.museocaprai.it> >
- ¹⁵.- White, Henry Seely. *An Autobiographical Memoir. The National Academy of the Sciences* [en línia]. 1930. ISSN 0077-2933. [Consulta: 23 octubre 2018]. Disponible a < <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/> >
- ¹⁶.- CurioSfera. *Historia de la plancha* [en línia]. Espanya: Curiosfera, 2017. [Consulta: 15 gener 2019]. Disponible a < www.curiosfera.com/historia-de-la-plancha >
- ¹⁷.- Centros de Planchado. *Las ventajas de los centros de planchado vs las planchas de vapor tradicionales* [en línia]. Espanya. 2017. [Consulta: 20 gener 2019] Disponible a < <http://centrosplanchado.com/las-ventajas-de-los-centros-de-planchado-vs-planchas-de-vapor-tradicionales/> >
- ¹⁸.- Gunt Hamburg. *Positive Displacement Pumps* [en línia]. Alemanya: Gunt Hamburg. 2019 [Consulta: 23 gener 2019]. Disponible a < <https://www.gunt.de> >
- ¹⁹.- Effie S.L. *Effie* [en línia]. Royston, Anglaterra: Effie. 2019. [Consulta 25 gener 2019]. Disponible a < www.helloeffie.com >
- ²⁰.- Siemens. *Manual de Siemens Dressman TJ10100* [en línia]. Alemanya: Siemens. 2009. Alemanya. [Consulta 30 gener 2019]. Disponible a < <https://www.manualpdf.es/siemens/dressman-tj10100/manual> >
- ²¹.- Nápoles Alberro, Amelia y Petreñas Ranedo, Jesús M^a. *Cinemàtica y dinàmica de mecanismos*. Barcelona: Editorial DELTA. 2011. ISBN-10: 8492954175
- ²².- Budynas, Richard & Nisbett, Keith. *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill. Novena Edició. 2008. ISBN 978-607-15-0771-6
- ²³.- Çengel, Yunus A. *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw-Hill. Tercera Edició. 2007. ISBN 9789701061732
- ²⁴.- Alacermas S.L. *Alacermas* [en línia]. Gurb: Alacermas. 2019. [Consulta 02 febrer 2019]. Disponible a < <http://www.alacermas.com> >
- ²⁵.- Barcelona Activa. *Enginyer/a mecànic/a* [en línia]. Barcelona: Ajuntament de Barcelona. 2011. [Consulta: 05 febrer 2019]. Disponible a < www.treball.barcelonactiva.cat/porta22/cat/fitxes/E/fitxa11155/enginyer-a-mecanica-a.do >
- ²⁶.- Reynaers Aluminium. *El ciclo de vida del aluminio-Reciclaje y gestión de residuos* [en línia]. Espanya. 2011. [Consulta: 22 abril 2019]. Disponible a < <http://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/47930-El-ciclo-de-vida-del-aluminio.html> >

²⁷.-Dalmau,Joan.*En España hay 30 millones de vehiculos en circulación* [en línia].Espanya.5/05/2017.[Consulta: 22 abril 2019].Disponible a < <https://www.coches.net/noticias/parque-de-vehiculos-en-espana> >

²⁸.-Selectra.*Potencia mínima de luz*[en línia].Espanya:Selectra,2018.[Consulta: 22 abril 2019].Disponible a < <https://tarifasgasluz.com/faq/potencia-minima-luz> >

